

---

# **TUOTEMASSOJEN OPTIMAALINEN SEKOITTAMINEN SÄILIÖISSÄ**

Valio Oy Turengin UHT-tehtaalla



Ammattikorkeakoulun opinnäytetyö

Bio- ja elintarviketekniikan koulutusohjelma

Hämeenlinna, syksy 2015

Miia Stenholm



## HÄMEENLINNA

Bio- ja elintarviketekniikan koulutusohjelma

Elintarviketecnologian suuntautumisvaihtoehto

**Tekijä**

Miia Stenholm

**Vuosi** 2015**Työn nimi**

Tuotemassojen optimaalinen sekoittaminen säiliöissä

## TIIVISTELMÄ

Sekoituksen tarkoituksena on tasata tuotemassojen eri ominaisuuksia, joita ovat lämpötila sekä raaka-aineiden fysikaaliset ja kemialliset koostumukset. Sekoituksen avulla kiinteät partikkelit voidaan pitää liuenneena nesteeseen ja estää faasien erottuminen. Laitteistossa olevia tuotemassojen vaahtoutuvuuteen vaikuttavia ilman lähteitä ovat esimerkiksi jauheita liuottavat mikserit, säiliöiden sekoittimet, pumput ja putkisto. Tuotemassan ilmapitoisuuteen vaikuttavat myös nesteen lämpötila, ympäröivä paine ja tuotemassaan lisättävien kiinteiden ja nestemäisten raaka-aineiden ilmapitoisuudet.

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Valio Oy Turengin tehdas. Työ perustuu tehtaalla havaittuun jo pitkäkestoiseen tuotemassojen vaahtoamisongelmaan. Vaahtoutunut tuotemassa aiheuttaa ylimääräisiä kustannuksia lisäämällä hävikin ja jäteveden määrää sekä heikentäen prosessin ennustettavuutta ja lisäten viivästyksiä. Työn tavoitteena oli saada selville mahdollisia syitä tuotemassan vaahtoamiseen. Tarkoituksena oli myös selvittää sekoitukseen vaikuttavia tekijöitä ja teknisiä ratkaisuja.

Työn kirjallisuusosan lähdeaineistona käytettiin kirjallisuutta ja alan artikkeleita. Lisäksi tietoa kerättiin tehtaan työntekijöiltä ja meijeriteknologian laitevalmistajilta. Kirjallisen selvityksen pohjalta päädyttiin käytännönkokeena tutkimaan liuotuksen lämpötilan vaikutusta tuotemassan vaahtoutumiseen. Liuotuksen lämpötilalla havaittiin olevan vaikutusta tuotemassan vaahtoisuuteen. Lämpötilan nostolla saatiin vähennettyä muodostuvan vaahdon määrää huomattavasti. Vastaavasti sekoitusnopeuksien muutoksilla ei havaittu merkittäviä vaikutuksia muodostuvan vaahdon määrään. Jatkotoimenpiteinä tulisi pohtia tuotemassan optimaalisinta lämmitystapaa liuotukseen ja liuotuksen jälkeen tehokkainta jäähdytystä.

**Avainsanat** Meijeri, vaahtoaminen, sekoitus, mikserit, jauheet, liuotus**Sivut**

49 s. + liitteet 3 s.

HÄMEENLINNA

Degree Programme in Biotechnology and Food Engineering

Food Technology

---

**Author**

Miia Stenholm

**Year** 2015**Subject of Bachelor's thesis**Optimal mixing of product masses in tanks

---

## ABSTRACT

The purpose of this Bachelor's thesis was to study the optimal mixing of product masses in tanks. The thesis was commissioned by Valio Oy Turenki Plant. The company had observed a long-term foaming of product masses which causes extra costs by increasing the amount of waste and waste water and weakens the predictability of the process. Mixing is used to distribute various characteristics of the product masses evenly e.g. the temperature and physical and chemical composition of raw materials. The aim was to find out the possible causes of the foaming of the product masses and examine the factors affecting mixing and various equipment.

In the theoretical part information was collected from publications, internet sources, factory workers and the manufacturers of dairy equipment. On the basis of the literary research it was decided to investigate the effect of the dissolution temperature on the foaming of the product mass through a practical experiment.

The results of the thesis show that the temperature of the dissolution has an effect on the foaming of the product mass. As the temperature rose the foaming decreased. By increasing the dissolution temperature the amount of foaming is significantly reduced. The changes in the mixing speed had no significant effect on the amount of foam formed. As further steps the optimal heating method of the product mass during dissolution and the most efficient cooling after dissolution should be considered.

**Keywords** dairy, foaming, mixing, mixers, powder, dissolution**Pages** 49 p. + appendices 3 p.

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	1
2	VAAHDON MUODOSTUMISEEN VAIKUTTAVIA TEKIJÖITÄ .....	1
2.1	Maidon ilmapitoisuus .....	3
2.2	Liuotettavien jauheiden ominaisuudet .....	3
3	LIUOTUS- JA SEKOITUSPROSESSIT .....	4
3.1	Tuotemassan liuotuskierto.....	4
3.1.1	Liuotustekniikat .....	5
3.1.2	Virtaus putkilinjoissa.....	9
3.1.3	Pumput.....	12
3.1.4	Liuotuskierron lähtö- ja paluupisteet säiliössä .....	13
3.2	Tuotemassan sekoittuminen säiliössä.....	13
3.2.1	Sekoituksen tehokkuus .....	15
3.2.2	Virtauslajit säiliössä sekoituksen aikana .....	16
3.2.3	Säiliöissä olevat sekoittimet .....	17
3.2.4	Sekoittimien sijainti säiliössä .....	23
4	MATERIAALIT JA MENETELMÄT .....	23
4.1	Tuotemassan liuotuskierto.....	25
4.1.1	Liuotuskierron pumput .....	25
4.1.2	Liuotuskierron lämpötila .....	26
4.2	Ilmapuhallus .....	26
4.3	Säiliöt .....	28
4.3.1	Säiliöiden CS1–CS3 sekoittimet .....	29
4.3.2	Säiliöiden CS4–CS8 sekoittimet .....	30
4.3.3	Säiliöiden CS10–CS11 sekoittimet .....	31
4.4	Sterilisaattoreiden ylimääräiset pesut.....	34
5	VAAHTOUTUMISKOKEIDEN TULOKSET JA TARKASTELU .....	34
5.1	Sekoittimien pyörimisnopeuden vaikutus vaahtoomiseen .....	35
5.1.1	Tuotemassa A .....	35
5.1.2	Tuotemassa B .....	40
5.2	Lämpötilan vaikutus tuotemassan vaahtoomiseen .....	40
6	POHDINTA JA PARANNUSEHDOTUKSET .....	44
Liite 1	Sekoitustehon laskeminen	
Liite 2	Massan tilavuuden muutokset eri liuotuslämpötiloissa	

## 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön toimeksiantajana toimii Valio Oy Turengin tehdas. Tehtaalla tuotetaan iskukuumennettuja (UHT) maito- ja kermavalmisteita, las-tenruokia sekä korkeapastöroitua (ESL) maitovalmisteita. Vuonna 2013 val-mistettu tuotemäärä oli 42,1 miljoonaa litraa. Tuotteita valmistetaan noin 70:stä eri tuotemassasta. Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia tuotemassojen sekoittamiseen liittyviä tekijöitä ja selvittää tarjolla olevia uusia sekoituslait-teistoja. Työn pohjana oli tehtaalla havaittu tuotemassojen vaahtoutumison-gelma. Ongelma vaikuttaa negatiivisesti prosessin ennustettavuuteen ja toi-mintaan sekä tuotteiden laatuun. Tuotemassojen vaahtoutumisongelmaa esiin-tyy erityisesti säiliöissä CS10–CS11 ja ongelma on ollut pitkäkestoinen. Säi-liöt ovat tulleet tehtaalle vuonna 1995. Prosessilaitteistojen automatisoituessa vaahtoutuneen tuotemassan aiheuttamat ongelmat ovat korostuneet. Aiemmin tuotevalmistaja seurasi sterilisaattorin syöttösuppilolla tuotemassan ajon lope-tusta. Vaahtoisen massan lisääntyessä syöttösuppilolla, reitti syöttölinjasta suljettiin käsiventtiilillä. Syöttösuppilossa tuotemassan pinnan laskiessa avat-tiin käsin venttiili vesilinjasta. Automaatiolopetuksessa syöttölinjan tyhjennys alkaa säiliön tyhjä tiedosta ja jatkuu vesityönnöllä. Vaahtoon määrään syöt-tösuppilossa ei pysty tällöin vaikuttamaan. Tuotemassojen vaahtoutumison-gelma aiheuttaa tuotantoon lisäkustannuksia. Sterilisaattorin ylimääräinen pe-su lisää kemikaalien kulutusta, jätevesien määrää ja aiheuttaa tuotantoon vii-västyksiä. Viivästykset aiheuttavat häiriötä myös prosessin loppuosalle. Asep-tiset pakkauskoneet joutuvat hidastamaan tuotantoa joaan. Nämä tilanteet kuormittavat myös henkilöstöä.

Tehtaalla tämän opinnäytetyön käytännönkokeena tutkittiin yksittäisiä koe-eriä eri sekoittimen pyörimisnopeuksilla. Näiden erien perusteella valittiin al-haisempi sekoitusnopeus yhdelle tuotemassalle. Sekoitusnopeuden alentami-ssa haasteeksi muodostui sekoittimien moottoreiden ylikuumeneminen, jo-ten sekoitusnopeudet palautettiin alkuperäisiksi. Laboratoriomittauksissa tut-kittiin nesteen lämpötilan vaikutuksia liuotuksessa muodostuvaan vaahtoon. Lämpötilan nostolla havaittiin olevan positiivisia vaikutuksia vaahtoon muo-dostuksen vähenemiseen. Laboratoriomittausten jälkeen tehtaalla tehtiin käy-tännön kokeena jauheiden liuotus lämpimään nesteeseen. Tuotemassan vaaht-toaminen väheni merkittävästi.

## 2 VAAHDON MUODOSTUMISEEN VAIKUTTAVIA TEKIJÖITÄ

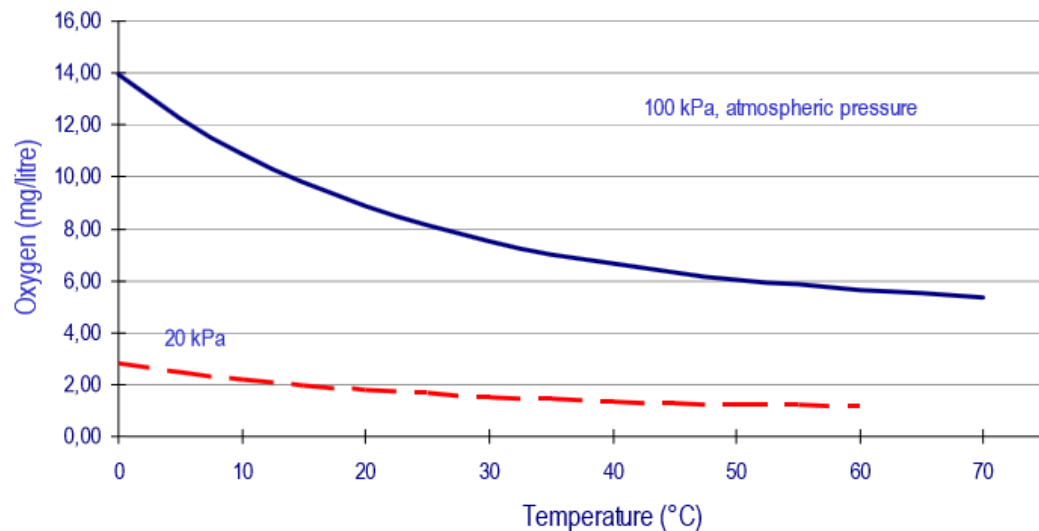
Vaahtoutunut tuotemassa aiheuttaa ongelmia sterilisaattoreilla prosessin ede-ssä. Tehtaalla on epäilty, että säiliöissä CS10–CS11 tuotemassat vaahtoutu-vat sekoittajan tai jonkin muun tekijän vaikutuksesta massanvalmistuksen ja välivarastoinnin aikana. Paksua vaahtoa sisältävä tuotemassa on viskoosisem-pää kuin vaahtoton massa. Sterilisaattoreilla tuotemassan viskositeetin äkilli-nen nousu aiheuttaa virtausnopeuden laskun. Virtausnopeus ja sterilointiläm-

pötila ovat riippuvaisia toisistaan. Virtausnopeuden laskiessa myös sterilisaattorin sterilointilämpötila laskee epästeriililämpötilan alapuolelle, eikä tuote ole enää tämän jälkeen steriiliä. Lämpötilan laskiessa steriilirajan alapuolelle aseptisen säiliön venttiilit sulkeutuvat välittömästi ja sterilisaattori aloittaa automaattisesti vesityönnön. Epästeriilitilanteessa tuotehävikin määrä lisääntyy. Säiliölle on saattanut jäädä ajamatonta tuotemassaa ja sterilisaattorin sisällä oleva tuotemassa ohjautuu sterilisaattorista valinnan mukaan joko kontteihin tai huuhteisiin. Keskeytyksen jälkeen tuotannon uudelleen aloitus vaatii sterilisaattorin CIP-pesun (Cleaning In Place), tuotantoajoon valmistelun ja steriloinnin, joihin aikaa kuluu yhteensä noin 3–4 tuntia. Aseptisen säiliön pesu ei ole tarpeellista venttiilien sulkeutumisen vuoksi, koska tällöin epästeriiliä tuotetta ei ole päässyt aseptiseen säiliöön.

Vahto voidaan luokitella kaasukuplien dispersioksi, jossa jatkuvana faasina on erilaisia pinta-aktiivisia aineita, kuten proteiineja, sisältävä neste. Nesteen vaahdonmuodostuskykyyn vaikuttaa nesteen kyky laajentaa rajapinta-alaansa muodostamalla kaasukuplien päälle pitävä kalvo. Proteiinit alentavat nesteen pintajännitystä, ovat joustavia rajapinnoilla ja kestävät ohuilla kalvoilla olevia paine-eroja. Tuotemassaan sekoituksessa tuotu energia saa proteiinimolekyylit adsorboitumaan ilman ja nesteen rajapinnalla. Proteiinien hydrofiiliset osat hakeutuvat vesiliuokseen ja hydrofobiset osat kaasufaasiin. Denaturoituneet proteiinit koaguloituvat, jolloin muodostuu stabiilikalvo kaasukuplien ympärille. (Linnavuori 2013, 2–6.)

Maidon proteiineista määrällisesti eniten on kaseiinia. Herassa olevia proteiineja ovat beta-laktoglobuliini, alfalaktalbumiini, seerumin albumiini, immunoglobuliinit ja laktotransferriini. Rasvattoman beta-laktoglobuliinin ominaisuuksiin kuuluu runsaan ja kestävän vaahdon muodostaminen. Sokerin avulla vaahdon kestävyys paranee. Myös alfalaktalbumiini on hyvin vaahtoutuvaa ja sen muodostamasta vaahdosta tulee kestävä. (Rantamäki & Hiidenhovi 2001, 2–3.)

Vaahdossa kaasuna toimii yleisesti ilma tai joissakin tapauksissa myös hiili-dioksidi. Kaasukuplien kokoon vaikuttavia tekijöitä ovat sekoituksen tuotemassaan kohdistama energia ja nesteen pintajännitys. Ominaisuuksiltaan vaahtoutuneen tuotemassan viskositeetti on normaalia korkeampi. (Linnavuori 2013, 2–6.) Tuotemassan vaahtoutuvuuteen vaikuttavia ilman sekoittumisen lähteitä laitteistossa voivat olla jauheita liuottavat mikserit, säiliöiden sekoittimet, pumpput ja putkisto. Muita tuotemassan ilmapitoisuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat lämpötila, ympäröivä paine ja tuotemassaan lisättävien kiinteiden ja nestemäisten raaka-aineiden ilmapitoisuudet. Kuviossa 1 (s. 3) on havainnollistettu veden ilmapitoisuuden muutosta lämpötilan ja paineen suhteen. (Tetra Pak Scanima S/A n.d., 13–15.) Kaasukuplien koko voi vaihdella yhdestä mikrometristä useampaan senttimetriin. Vahto on ominaisuuksiltaan korkea viskoosista ja kevyttä eli sen tiheys on matala. Vaahdon rakenteen pinta-energian rikkomiseen tarvitaan ärsyke, kuten esimerkiksi ilmavirta ja lämpötilaerojen aiheuttama lämmön virtaus. Myös pölyhiukkaset sekä orgaaniset epäpuhtaudet aiheuttavat riittävän ärsykkeen. (Linnavuori 2013, 2–6.)



Kuvio 1. Normaalissa ilmanpaineessa lämpötilan noustessa veden ilmapitoisuus (mg/litra) laskee huomattavasti. Alipaineessa veden ilmapitoisuus on alhainen ja lämpötilan vaikutus ilman määrään on pieni. (Tetra Pak Scanima S/A n.d., 16.)

## 2.1 Maidon ilmapitoisuus

Raakamaito altistuu ilmalle usein eri tavoin maitotilalla, siirtokuljetuksissa ja meijerin maidonvastaanotossa. Ilmapitoisuus voi nousta tällöin yli 10 prosenttiin. Osa ilmasta ei ole liuenneena maitoon, mutta pysyy hienojakoisessa muodossa kiinnittyneenä rasvaan. Maidonvastaanotossa ilmanpoistajalla maidon ilmapitoisuus saadaan alenemaan. Ilmanpoisto tapahtuu alipaineen avulla. (Bylund 2003, 149–151.) Taulukkoon 1 on koottu raakamaidon sisältämien kaasujen pitoisuudet.

Taulukko 1. Raakamaidon kaasupitoisuudet maitotilalla (Bylund 2003, 149)

Pitoisuus	Happi [%]	Typpi [%]	Hiilidioksidi [%]	Yhteensä [%]
Vähimmillään	0,30	1,18	3,44	4,92
Enimmillään	0,59	1,63	6,28	8,5
Keskimäärin	0,47	1,29	4,45	6,21

## 2.2 Liuotettavien jauheiden ominaisuudet

Tuotteen laadun kannalta maitojauheen optimaalinen liukeneminen on tärkeää. Jauheen liukoisuudella kuvataan sen kykyä muodostaa stabiili suspensio. Tähän voidaan vaikuttaa liuotustekniikalla ja jauheen ominaisuuksilla. Liukemiseen vaikuttavia jauheen ominaisuuksia ovat sen kyky upota, kostua sekä dispersoitua. Jauheen optimaalinen kostumisaika on alle 30 sekuntia. (Bylund 2003, 392.)

Eri jauheiden ominaisuuksia on koottu taulukkoon 2. Jauheenvalmistuksen laatuparametreja ovat liukoisuus, kostuvuus, palaneiden osasten määrä, mikrobiologinen puhtaus ja hajoamisominaisuudet (Tetra Pak Scanim S/A n.d., 24).

Taulukko 2. Eri jauheiden keskeisempiä ominaisuuksia (Tetra Pak Processing Systems 2011, 4.)

Jauhetyyppi	Korkea viskositeetti	Vaah-toaminen	Paak-kuuntuminen	Turpoaa kylmäsä	Turpoaa lämpimäsä
Aspartaami		X			
Maito-jauhe		X	X		
Maltodekstriini					
CMC	X			X	
Pektiini	X				X
Kaseinaatti		X		X	
Tärkkelys	X			X	X

Tilavuudestaan rasvaton maitojauhe sisältää noin 40 prosenttia ilmaa. Liuotuksessa tämä voi aiheuttaa tuotemassan sisältämän ilmamäärän kasvua. Nesteen lämpötila jauheen liuotuksessa vaikuttaa tuotemassan ilmapitoisuuteen. Lisättäessä rasvatonta maitojauhetta 18 prosenttia +50 °C:seen nesteeseen, on ennastetun maidon ilmapitoisuus sama kuin tavallisella rasvattomalla maidolla. Laskettaessa liuotuksessa nesteen lämpötila +30 °C:seen, on ennastetun maidon ilmapitoisuus 50–60 prosenttia korkeampi kuin lämpimämpään nesteeseen ennastetun maidon. Kun jauheen lisäysmäärä on noin 41 prosenttia, on ilmamäärä ennastetussa maidossa 10 kertaa suurempi kuin tavallisessa rasvattomassa maidossa. Jauheen liuotuksessa muodostuva vaahto on otettava huomioon sekoitussäiliön tilavuudessa. Tilavuuden tulee olla 20 prosenttia suurempi kuin valmistettavan erän koko. (Bylund 2003, 394.)

### 3 LIUOTUS- JA SEKOITUSPROSESSIT

Tähän kappaleeseen on kerätty tietoa jauheiden liuotukseen vaikuttavista tekijöistä ja laitteistoista.

#### 3.1 Tuotemassan liuotuskierto

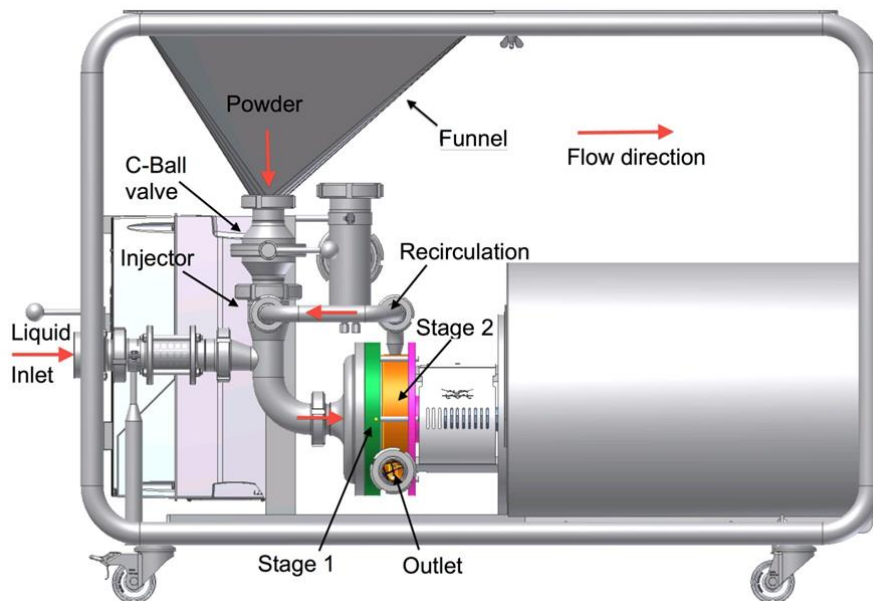
Liuotuskierto eli jauheen liuottaminen nesteeseen koostuu neljästä eri reaktiosta, jotka osittain tapahtuvat samanaikaisesti. Kostutuksessa jauhepartikkelit adsorboivat vettä. Tämä reaktio on riippuvainen jauhepartikkelin ja nesteen välisestä pintajännityksestä. Uppoamisnopeuteen vaikuttavia tekijöitä ovat jauhepartikkeleiden tiheys ja ilmapitoisuus. (Phinney 2011, 2.)



Kostutetusta ja osin uponneesta jauhepartikkelista erottuu jauheagglomeraatteja ja kaseiinimisellit hajoavat nesteeseen. Toimiakseen proteiinit tarvitsevat tietyn määrän vettä. Liuotuksessa proteiinit sitovat vesimolekyyliä ja turpoavat, jolloin niiden toimintakyky palaa ennalleen. Sitoutuneen veden lisäksi proteiinien matriisi sisältää kapillaarista vettä. Yksi gramma kaseiinimisellejä kykenee sitomaan vettä yhteensä 3–4 grammaa. Hajoamisen jälkeen jauheen sisältämä laktoosi, denaturoimaton heraproteiini ja suolat liukenevat veteen. (Phinney 2011, 2.)

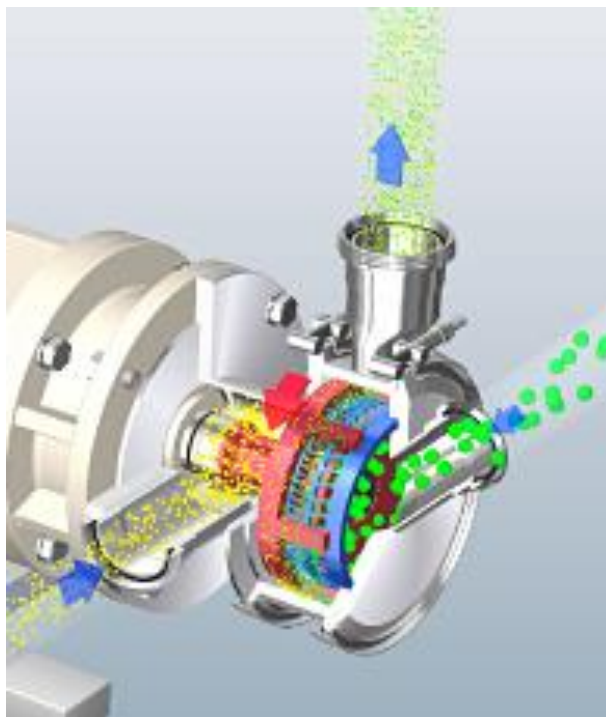
### 3.1.1 Liuotustekniikat

Jauheen liuottamiseen nesteeseen on eri tekniikoita. Hybridimikserissä jauheen sekoitus ja pumppaus muodostaa yhden kokonaisuuden. Jauheiden lisäys nestevirtaan käsittää kolme sekoitusvaihetta. Injektori esisekoittaa jauheen ja nesteen keskenään. Jauheiden liukenemista tehostetaan roottori-staattoriosan ja juoksupyörän leikkausvoimilla. Näiden sekoitusvaiheiden myötä jauhe saadaan tehokkaasti ja homogeenisesti liukenemaan nesteeseen. Jauhe on liuenut nesteeseen liuotuskierron palatessa säiliölle. Tällöin liuosta ei tarvitse kierrättää useita kertoja mikserille. Nopealla virtauksella pystytään vähentämään jauheiden paakkuuntumisriskiä. (Alfa Laval n.d.a.) Kuvassa 1 on esitetty hybridimikserin toimintaperiaate.



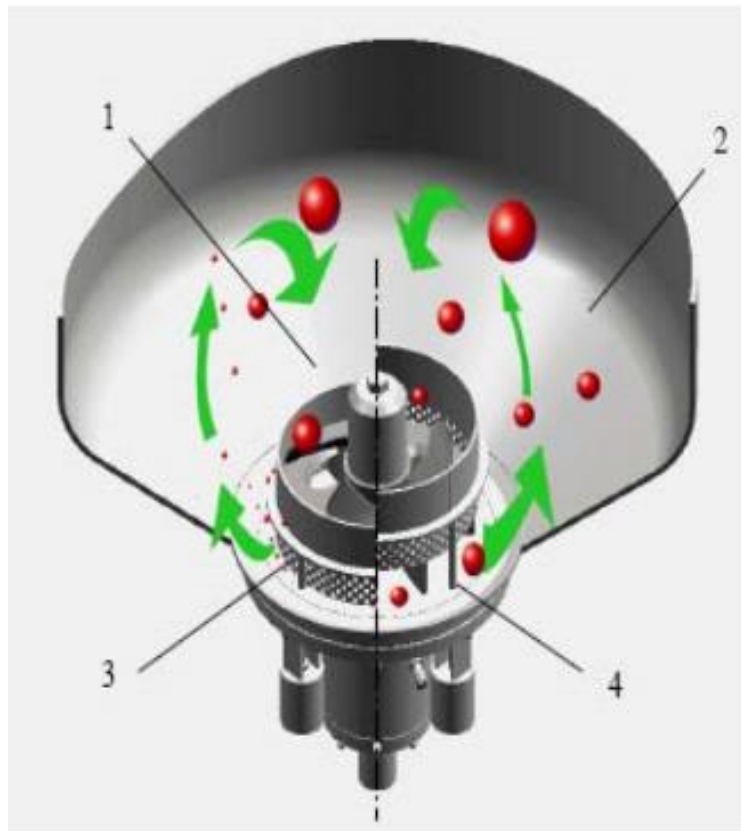
Kuva 1. Nestevirtaan lisättävä jauhe annostellaan suppilosta. Suppilon alla olevassa injektorissa jauhe ja neste esisekoitetaan alipaineessa. Neste tulee injektoriin pumpusta (vaihe 2) takaisinkierrätyksellä. Roottori-staattoriosassa jauhe ja neste sekoittuvat ja niistä tulee homogeeninen seos. Pumpun avulla virtaus jatkuu takaisin säiliölle. (Alfa Laval n.d.a. 2.)

Imumikseri toimii alipaineessa. Jauhepartikkelit eivät ainoastaan kostu vaan ne myös hajautetaan nestevirtaan. (Ystral gmbh 2015a.) Mikserille tulee kaksi syöttölinjaa, toinen nesteelle ja toinen liuotettaville jauheille. Nämä yhdistyvät tehokkaasti roottori-staattoriosassa, jossa niihin kohdistuu suuria leikkausvoimia. Mikseri liuottaa jauheen alipaineessa, jolloin vältetään agglomeraattien muodostumiselta ja parannetaan jauheen liukenemisreaktiota. (Ystral gmbh. n.d.) Kuvassa 2 on esitetty imumikserin toimintaperiaate.



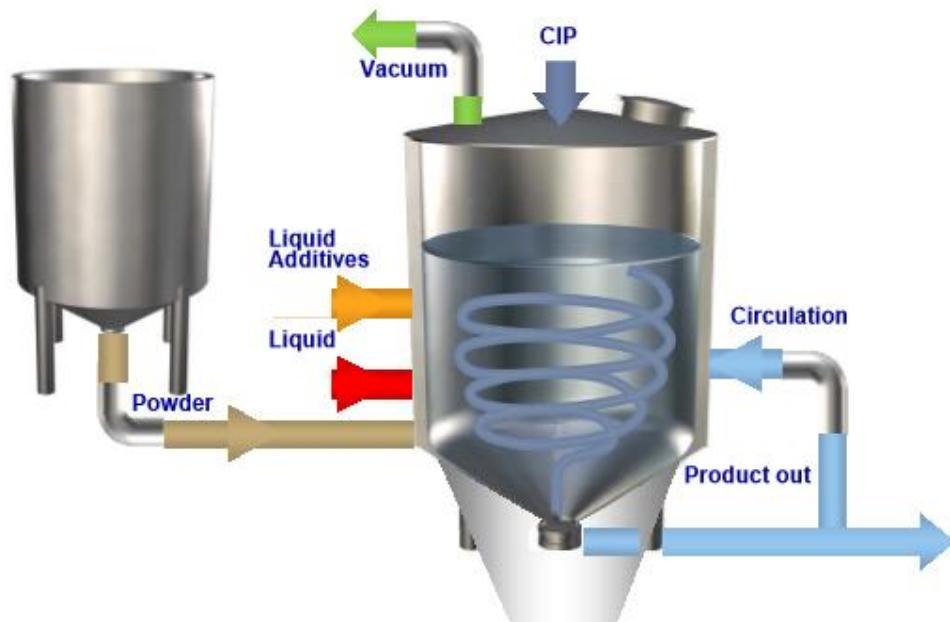
Kuva 2. Imumikserin toimintaperiaate. Liuotettava jauhe ja neste yhdistetään mikserin roottori-staattoriosassa alipaineessa. Jauheen virtausta on kuvattu keltaisella värillä ja nesteen vihreällä. (Ystral 2015b.)

Alipainemikserin tarkoituksena on liuottaa jauhe nesteeseen ja aikaansaada homogeeninen seos niin, että ilman sekoittuminen massaan saadaan minimoitua. Tyhjiösekoittamisella pystytään myös vähentämään vaahtoamiseen liittyviä ongelmia. (Tetra Pak Scanima S/A 2013.) Ilman poiston myötä hydraatio-aika vähenee sekä myöhemmissä prosessivaiheissa pystytään lämmönvaihtimien likaantumista ja homogenisaattorin kavitaatiota välttämään. Myös aromiaineiden hapettumiselta vältetään. (Tetra Pak Scanima S/A n.d., 57.) Laitteen pääkomponentit ovat alipainesäiliö ja turbomikseri. Turbomikseri käsittää roottorin ja rei'itetyn staattorin, jotka aikaansaavat optimaalisen jauhepartikkeleiden kostumisen. (Tetra Pak Scanima S/A 2013.) Kuvassa 3 (s. 7) on esitetty alipainemikserin sekoitinyksikön toimintaperiaate.



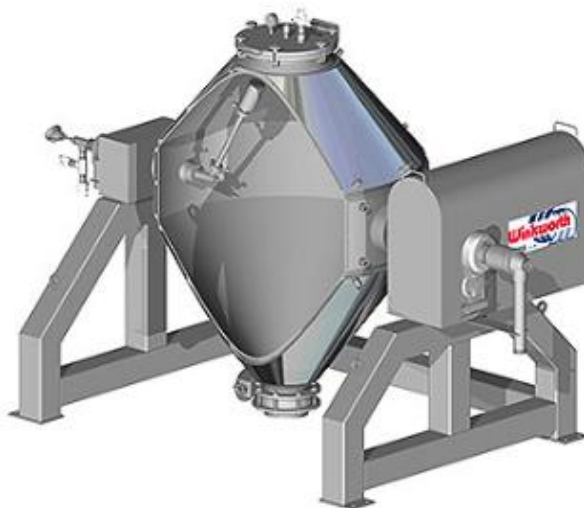
Kuva 3. Alipainemikserin turbiinisekoitin. 1 Massa imetään keskipakovoiman avulla sekoittimeen. 2 Säiliössä on voimakas virtaus. 3 Staattori on alhaalla ja tuote pakotetaan kokonaisuudessaan staattorin reikälevyn läpi, jolloin aikaansaadaan suuria leikkausvoimia. 4. Staattoriosa on ylhäällä, jolloin tuotteen virtausnopeus nousee eikä tuote virtaa reikälevyn läpi. Tuotteen käsittely on hellevaraisempaa. (Tetra Pak Scania S/A n.d., 56.)

Nestettä alipainesäiliössä pidetään noin 2/3:n verran. Sekoitettava jauhe tai neste imetään alipainesäiliöön nestepinnan alapuolelta vakuumin avulla. Samanaikaisesti säiliön pohjalla oleva turbomikseri sekoittaa sisään imetyn tuotteen nesteeseen. (Kosonen, sähköpostiviesti 8.4.2015.) Kuvassa 4 (s. 8) on havainnollistettu vakuumimikserin toimintakokonaisuutta.



Kuva 4. Alipainemikserin toimintakokonaisuus. Neste tulee mikseriin kyljestä ja jauheet läheltä mikserisäiliön pohjaa. Liuos poistuu tai sitä voidaan kierrättää mikserin sekoitinyksikön kautta säiliön pohjasta. (Tetra Pak Scanima S/A n.d., 69.)

Kartiomikseri soveltuu erilaisten jauheiden ja rakeiden sekoittamiseen. Alhaisen pyörihdysnopeutensa ansiosta mikseri soveltuu myös tiheämmille massoille. Mikserissä tuotemassan sekoittuminen on hellävaraista eikä se aiheuta tuotteeseen suuria leikkausvoimia. Sovelluksesta riippuen kartiomikseri on mahdollista saada myös alipaineisena. (Winkworth n.d.) Kuvassa 5 on kartiomikserin rakenne.



Kuva 5. Kartiomikseri (Winkworth n.d.).

### 3.1.2 Virtaus putkilinjoissa

Putkiston halkaisija sekä virtaavaan massan ominaisuudet, kuten viskositeetti ja tiheys, vaikuttavat virtauslajien muodostumiseen putkistossa (Otronen 2015, 5). Nesteiden virtaus voidaan jakaa useisiin eri virtaustiloihin, jotka ovat osittain yhtä aikaa voimassa olevia. Näitä virtaustiloja ovat esimerkiksi laminaariset ja turbulenttiset virtaustilat sekä epävakaat ja vakaat virtaustilat. Epävakaa virtaustilanne syntyy, kun virtaukseen tehdään muutoksia. Nämä muutokset voivat olla esimerkiksi venttiileiden asentojen muutoksia ja pump-pujen säätömuutoksia. Muutokset aiheuttavat virtaukseen paineaaltoiluja ja virtaamavaihteluita. Virtaustila muuttuu vakaaksi, kun virtaukseen kohdistet-tujen muutosten vaikutukset ovat lakanneet tai muuttuneet vähäisiksi. (Pulli 2009, 19–20.)

Nesteiden virtaukseen kuuluu aina kitkan vaikutus. Kitkallisissa virtauksissa nestepartikkelit liikkuvat eri tahtiin. Tällöin ne hankaavat toisiaan ja osa liike-energiasta muuttuu lämmöksi. (Hautala & Peltonen 2011, 121.) Putkistossa tapahtuu virtausnopeuden muutoksia muun muassa mutkissa, venttiileissä ja kuristuselimissä. Virtausnopeuden kasvaessa laminaarinen virtaus muuttuu turbulenttiseksi. (Metropolia 2009.)

Reynoldsin luvulla ( $Re$ ) tarkoitetaan kitkavoimien ja massavoimien suhdetta. Laskennallisesti virtauksesta saatavan luvun suuruuden mukaan virtaus jae-taan turbulenttiseen tai laminaariseen virtaukseen. (Wuori 1994, 106.) Kriitti-nen  $Re$ -arvo on 2 320. Tämän alle jäävät luvut kuvaavat laminaarista virtaus-ta.  $Re$ -luvuissa välillä 2 320–10 000 on virtauksissa epästabiilitilanne, jolloin virtaus on vaihtelevasti laminaarista sekä turbulenttista. Yli 10 000 saatavat luvut kuvaavat puhtaasti turbulenttista virtausta. Eri prosessivaiheille, kuten putkivirtaukselle, sekoitukselle ja keskipakopumppaukselle on omat  $Re$  -luvun laskukaavansa. Putkivirtauksen  $Re$ -luku saadaan kaavalla 1. (Tirri 2002, 27–28.)

$$Re = \frac{\text{keskimääräinen virtausnopeus} \times \text{putken halkaisija}}{\text{kinemaattinen viskositeetti}} \quad (1)$$

Viskositeetillä määritetään nesteiden virtausvastusta eli juoksevuutta. Visko-siteetti vaikuttaa nesteiden kinetiikkaan. (Jyväskylän yliopisto n.d., 1.) Nes-teen sisäinen kitka syntyy, kun nesteessä olevat molekyylit vastustavat liikettä toistensa ohi. Nesteessä tämä tarkoittaa molekyylien välistä koheesiota. (Tirri 2002, 24.)

Viskositeetikertoimella kuvataan nesteen partikkeleiden välillä olevaa vastus-ta, joka aiheuttaa liukkauden puutteen partikkeleiden välille. Tämä on verran-nollinen siihen, miten nopeasti nesteen partikkelit erkanevat toisistaan. Visko-siteetit jaetaan viskositeetikertoimen mukaan newtonilaisiin ja ei-newtonilaisiin nesteisiin. (Jyväskylän yliopisto n.d., 1–3.) Newtonilaisilla nes-teillä, kuten maidolla ja vedellä, on yksittäinen viskositeettiarvo tietyssä läm-pötilassa. Ei-newtonilaisilla nesteillä, kuten kastikkeilla ja jogurteilla, viskosi-

teettiarvo on riippuvainen lämpötilasta ja siihen kohdistuvista leikkausnopeuksista. (Tetra Pak Scanima S/A n.d., 22.)

Nesteen molekyylien kineettisen energian, rakenteen ja epäjärjestyksen perusteella määritellään dynaaminen viskositeetti, joka on lämpötila- ja paineriippuvainen. Nesteen viskositeetti laskee kun sen lämpötilaa nostetaan. Tämä johtuu molekyylien kineettisen energian kasvusta. (Tirri 2002, 26.)

Nesteen kinemaattinen viskositeetti, jota kuvataan suurella  $m^2/s$ , saadaan laskettua jakamalla nesteen dynaaminen viskositeetti nesteen tiheydellä. Kineemaattinen viskositeetti on riippuvainen nesteen lämpötilasta ja paineesta. (Tirri 2002, 25.)

Nesteen tiheys on riippuvainen lämpötilasta eli tiheys muuttuu lämpötilan muuttuessa. Tätä riippuvuutta kuvataan kaavalla 2. (Wuori 1994, 1.)

$$\Delta\rho = \frac{\Delta T^2}{A} \quad (2)$$

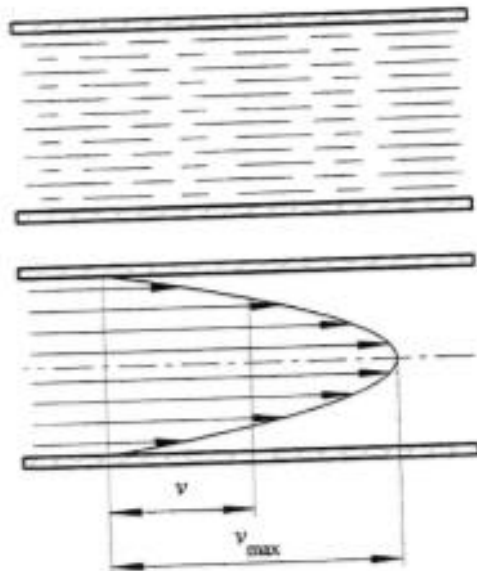
$\Delta\rho = \rho_0 - \rho$ , eli tiheyden muutos

$\Delta T = T_0 - T$ , eli lämpötilan muutos

$A$  = nesteelle ominainen vakio  $m^3 K^2/kg$

(Wuori 1994, 1.)

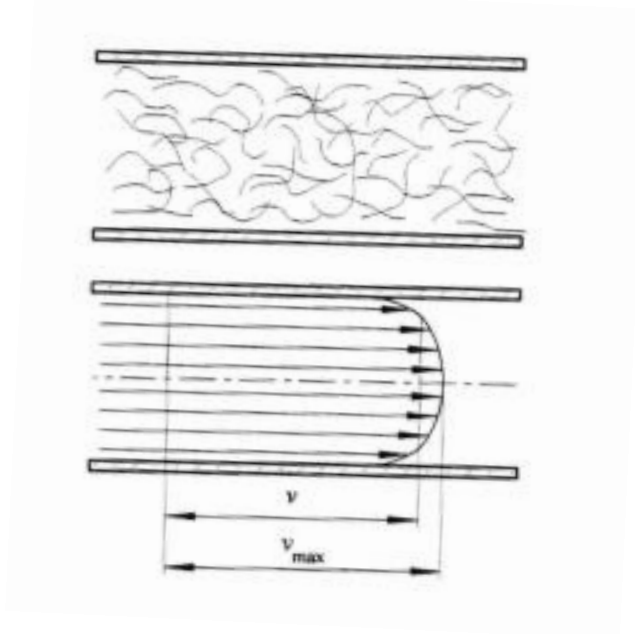
Laminaarisella virtauksella tarkoitetaan suoraviivaista virtausta, jossa neste liikkuu putken keskiakselin suuntaisesti. Nestepartikkelit eivät tee poikittaista liikettä. (Hautala & Peltonen 2011, 113.) Laminaarista virtausta esiintyy pienillä virtausnopeuksilla, jolloin virtausnopeudessa tai virtausviivojen sisällä ei esiinny vaihteluita. Yhdensuuntaisesti liikkuvat nestekerrokset ketjuuntuvat molekyylien välisestä vuorovaikutuksesta. Virtauksen nopeusvektorit putkessa jakautuvat paraabelimuotoon. Adheesiovoimien vaikutuksesta virtausnopeus putken reunoilla lähenee nollaa ja suurin virtausnopeus on putken keskiakselilla. (Tirri 2002, 26.) Kuvassa 6 (s. 11) on esitetty laminaarisen virtauksen virtauskuvio ja sen nopeusvektorit putken poikkileikkauksessa.



Kuva 6. Kuvan yläosassa on esitetty laminaarisen virtauksen virtauskuvio. Alaosassa on kuvattuna sen nopeusvektorit. (Kauranne, Kajaste & Vilenius 1999, 46.)

Turbulenttisessa virtauksessa olevan nesteen molekyylit värähtelevät, jolloin liike-energiaa siirtyy niissä kerroksesta toiseen (Wuori 1994, 106). Nesteen molekyylit liikkuvat putkessa poikittain, jolloin nesteeseen syntyy pyörähtelevää liikettä. Pyörähtely johtaa nesteen jatkuvaan sekoittumiseen. Turbulenttisen virtauksen syntymisen voi aiheuttaa halkaisijaltaan suuri putki, nopeuden kasvattaminen tai nesteen alhainen viskositeetti. (Hautala & Pelttonen 2011, 125–127.)

Virtaavan nesteen ja nestettä rajaavan seinämän välissä on rajakerros. Sen korkeus on riippuvainen paineesta. Paineen kasvaessa rajakerros kasvaa ja paineen pienentyessä myös rajakerros pienenee. Rajakerroksen virtaus on turbulenttista. (Wuori 1994, 129.) Turbulenttisessa virtauksessa nopeusvektorit putkessa ovat lähes samalla tasolla. Nopeusvektorit pienenevät putken seinämää lähellä ja rajakerroksessa. (Tirri 2002, 27.) Kuvassa 7 (s. 12) on kuvattu turbulenttisen virtauksen nopeusvektorit ja molekyyliden pyörähtely.



Kuva 7. Kuvan yläosassa on kuvattu turbulenttisen molekyyliliikettä nesteessä. Alaosassa on esitetty turbulenttisen virtauksen nopeusvektorit. (Kauranne ym. 1999, 46.)

### 3.1.3 Pumput

Keskipakopumppuja käytetään yleisesti meijeriteollisuudessa, koska ne ovat halvempia hankintahinnaltaan, käyttökustannuksiltaan ja huolloiltaan. Ne myös soveltuvat useisiin eri käyttökohteisiin ja eri viskoosisille tuotemassoille. Tuotemassan ei tarvitse olla rakenteeltaan stabiilia, vaan pumppu pystyy pumppaamaan isompiakin partikkeleita. Pumpulla ei voi pumpata hiilihapotettua tuotetta. (Bylund 2003, 158–160.)

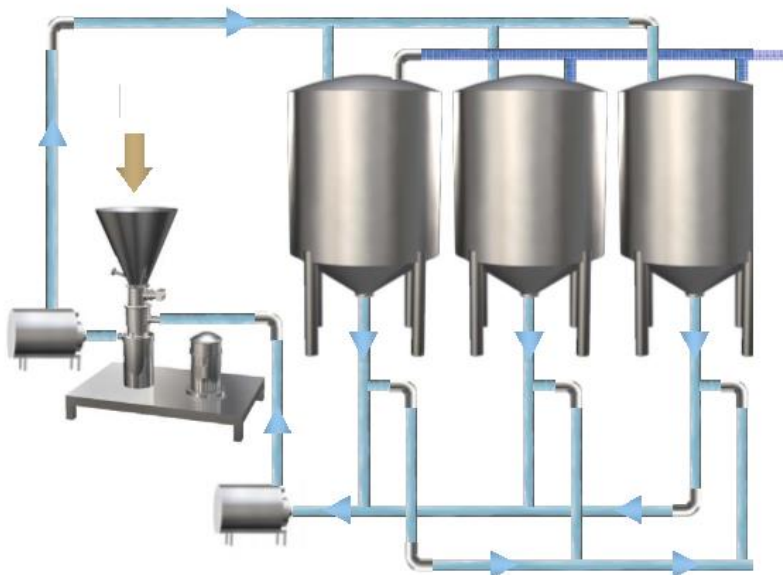
Lohko-roottoripumpussa on kaksi roottoria, jotka muodostavat 2–4 lohkoa. Roottoreiden pyöriessä pumpun tulopuolelle muodostuu tyhjiö, jonka avulla tuotemassaa imetään pumppuun. Roottorit siirtävät tuotemassan kehää pitkin pumpun ulostulolle. Tuotemassaan kohdistuvan hellän mekaanisen käsittelyn vuoksi pumppua käytetään esimerkiksi korkean rasvapitoisuuden kermoissa ja hapanmaitovalmisteille. (Bylund 2003, 162.)

Nesterengaspumpun siipipyörässä on radiaaliset siivet. Tuotemassa johdetaan pumpun siipien väliin, jossa sen vauhti kiihtyy kohti pumpun pesää. Pumpun pesässä tuotemassa muodostaa nesterenkaan, jonka pyörimisnopeus on sama kuin siipipyörä. Nesterengaspumppua käytetään tuotemassoilla, joiden kaasutai ilmapitoisuus on suuri ja jolloin keskipakopumppua ei voi käyttää. (Bylund 2003, 161.)



### 3.1.4 Liuotuskierron lähtö- ja paluupisteet säiliössä

Ilman sekoittumista massan joukkoon liuotuskierron aikana on mahdollista hillitä liuotuskierron lähtö- ja paluupisteiden sijoituksen avulla. Säiliön pohjalta lähtevä ja palautuva kierto minimoi ilman ja massan kosketusta ja hillitsee ilman sekoittumista massaan. (Kosonen, sähköpostiviesti 8.4.2015.) Ongelmia säiliön pohjasta lähtevä ja pohjalle palaava liuotuskierto aiheuttaa silloin kun liuotettavaa nestettä ja jauhetta on paljon. Tällöin riskinä on se, että liuotuskiertoon lähtee uudelleen pohjalle palautunut neste ja säiliön yläosissa oleva neste ei kierrä liuotuksen aikana lainkaan. (Tanskanen, puhelinkeskustelu 18.3.2015.) Kuvassa 8 on esitetty liuotuskierto, joka alkaa säiliön pohjalta ja palaa säiliölle yläkautta.



Kuva 8. Liuotuskierto, joka lähtee säiliön pohjalta ja mikserin kautta palautuu säiliön yläkautta (Tetra Pak Sanima S/A n.d., 45).

### 3.2 Tuotemassan sekoittuminen säiliössä

Sekoituksen tarkoituksena on tasata massan eri aineiden ominaisuuksien eroja. Tällaisia eroja ovat esimerkiksi lämpötilat tai aineiden fysikaaliset sekä kemialliset koostumukset. Prosessiteollisuudessa sekoituksen avulla valmistettuja erilaisia seoksia ovat muun muassa kiintoaineiden seokset, neste-nesteseokset sekä kiintoaineen ja nesteen seokset. Sekoituksen avulla kiinteät partikkelit voidaan pitää liuenneena nesteeseen ja estää faasien erottuminen. Sekoitinlaitteesta ja sekoitettavan massan ominaisuuksista riippuu sekoituksen vaatima teho. (Pihkala 1998, 66.)

Liuoksessa raaka-aineiden väliset tiheyserot aiheuttavat flokkulaatiota ja sedimentaatiota. Stabiilisuus saavutetaan, kun kiinteät partikkelit on saatu hajautettua tasaisesti nesteeseen. Liuoksen tarvitsemat sekoituksen aikaansaamat

leikkausvoimat riippuvat liuoksen viskositeetista ja jauheiden laadusta. (Tetra Pak Processing Systems 2011, 8.)

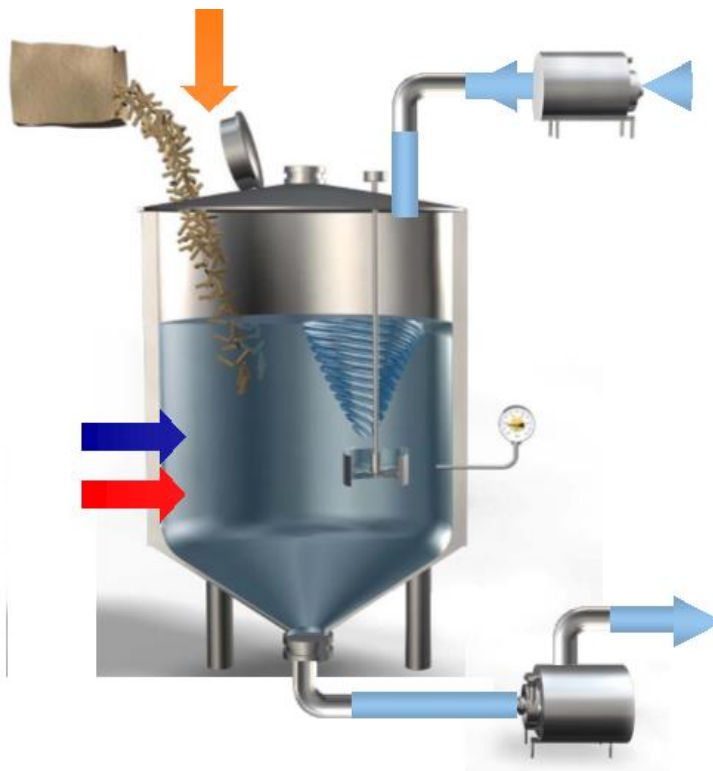
Sekoitusaikaa, sekoittimen tarvitsemaa tehoa ja massan ominaisuuksia tarkastelemalla voidaan arvioida sekoittimen toimintaa. Sekoittimelta vaadittavat ominaisuudet vaihtelevat prosessin tarpeen mukaan. Niitä voivat olla esimerkiksi massan homogeenisuus, sekoitusaika ja sen vaatima energia. (Tirri 2002, 166–167.) Taulukkoon 3 on koottu nesteen, kiintoaineineen ja kaasun sekoittamisilla aikaan saatuja massan koostumuksia.

Taulukko 3. Kiintoaineen, nesteen ja kaasun seokset. Jatkuvaan faasiin lisätään dispergoitava faasi. (muokattu Tetra Pak Scanima S/A n.d., 5.)

		Dispergoitava faasi		
		Kiintoaines	Neste	Kaasu
Jatkuva faasi	Kiintoaines	kiintoaines	geeli	vaahto
	Neste	suspensio	emulsio	vaahto

Massaa voidaan pitää täydellisesti sekoittuneena, kun satunnaisotannalla otettujen useiden pienien tilavuusosien ominaisuudet ovat samat. Sekoituksen tehokkuutta määritettäessä on huomioitava mahdollisesti syntyvät kuolleet alueet, joissa massan liike pysähtyy ja se jää paikoilleen (Pihkala 1998, 66–67.)

Virtausesteettömässä sekoittimessa pyörteen syvyys on suoraan verrannollinen roottorin halkaisijaan ja sekoituksen Frouden lukuun. Kaasua sekoittuu massaan pyörteen syvyyden yltäessä sekoittimen reunaan asti. (Tirri 2002, 189.) Voimakkaassa sekoituksessa saattaa esiintyä haitallista vortex-ilmiötä. Pystymallisen sekoittajan massaan kohdistaman keskipakovoiman myötä massa painuu säiliön seinämää vasten. Massan pinta säiliön reunoilla nousee, jolloin pinta keskeltä laskee. Pinnan laskeuduttua roottorin tasolle sekoittimeen pääsee ilmaa. Tämä aiheuttaa paineiskuja sekä sekoittimen värähdysliikettä. Tällöin myös sekoituksen teho heikkenee ja kiinteitä partikkeleita kerräntyy sekoittimen alapuolelle. Ilmiötä pystyy hillitsemään esimerkiksi sekoittajan asentamisella vinoon säiliön suhteen. (Pihkala 1998, 68.) Vortex-ilmiön myötä massaan saattaa sekoittua enemmän ilmaa (Savolainen, sähköpostiviesti 7.4.2015). Kuvassa 9 (s. 15) on esitetty pystymallinen sekoitus ja nestepinnan alla tapahtuva pyörreilmiö, jonka vaikutuksesta massaan sekoittuu ilmaa.



Kuva 9. Massaan ilmaa sekoittavan pyörre-ilmio sekoitussäiliössä (Tetra Pak Scanima S/A n.d., 44).

### 3.2.1 Sekoituksen tehokkuus

Roottorin tyyppi, halkaisija ja kierrosluku vaikuttavat sekoittimen tehonkuluutukseen. Myös sekoitettavan massan tiheys ja kinemaattinen viskositeetti vaikuttavat. Sekoituksen virtausvastuskerroin riippuu roottorin sijainnista sekä sekoitussäiliön geometriasta ja sisärakenteesta. (Tirri 2002, 181–183.)

Sekoituksen tehokkuus määritetään laskennallisesti. Laskukaavat ja vakiokerroin taulukot sijaitsevat liitteessä 1. Sekoitettavasta massasta määritetään Reluku. Tämän ja sekoitintyyppien vakiokertoimien avulla saadaan laskettua sekoituksen tehokkuus eli vastuskerroin. Tämän jälkeen pystytään määrittämään sekoituksen tehonkulutus ja käynnistysnopeus. (Tirri 2002, 182–187.)

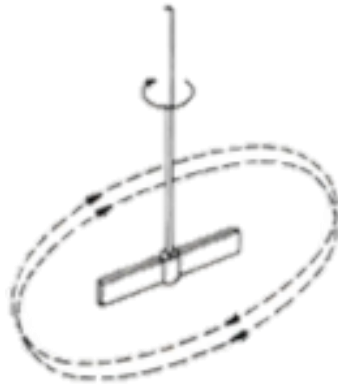
Sekoituksen tehokkuutta voidaan mitata esimerkiksi sekoittimen tarvitseman energian määränä (Pihkala 1988, 66). Tämä saadaan laskennallisesti sekoitusnopeuden ja -ajan tulona. Liitteessä 1 on esitettyä laskukaava, jossa energiankulutuksen laskemisen apuna käytetään sekoituksen tehonkulutusta. Energiankulutusta lisääviä tekijöitä ovat muun muassa sekoitusesteet, säiliön pohjan muoto, roottorin epäkeskeinen sijainti säiliössä ja sekoittimen pinta-ala. (Tirri 2002, 192–195.)

Sekoitusajan vaikuttavat tekijät ovat massan kinemaattinen viskositeetti, roottorin halkaisija ja kierrosnopeus. Sekoitusaajan puolittamisen jälkeen sa-

maan sekoittumisasteeseen pääsemiseksi sekoittimen energian kulutus nelinekertaistuu. (Tirri 2002, 190–194.) Sekoitusaikaan vaikuttavat nesteeseen sekoitettavan jauheen tyyppi, laatu ja määrä. Myös sekoittimen malli ja massan lämpötila vaikuttavat sekoittumisen nopeuteen. (Tetra Pak Scanima S/A n.d., 37.) Kiinteitä aineita sekoitettaessa partikkelidiffuusion avulla hiukkaset sekoittuvat tasa-aineiseksi komponenttijakaumaksi. Sekoituksen alkaessa sekoitusnopeus on voimakkaampi, mutta sitä on mahdollista pienentää komponenttijakauman tasoittuessa. (Tirri 2002, 208.)

### 3.2.2 Virtauslajit säiliössä sekoituksen aikana

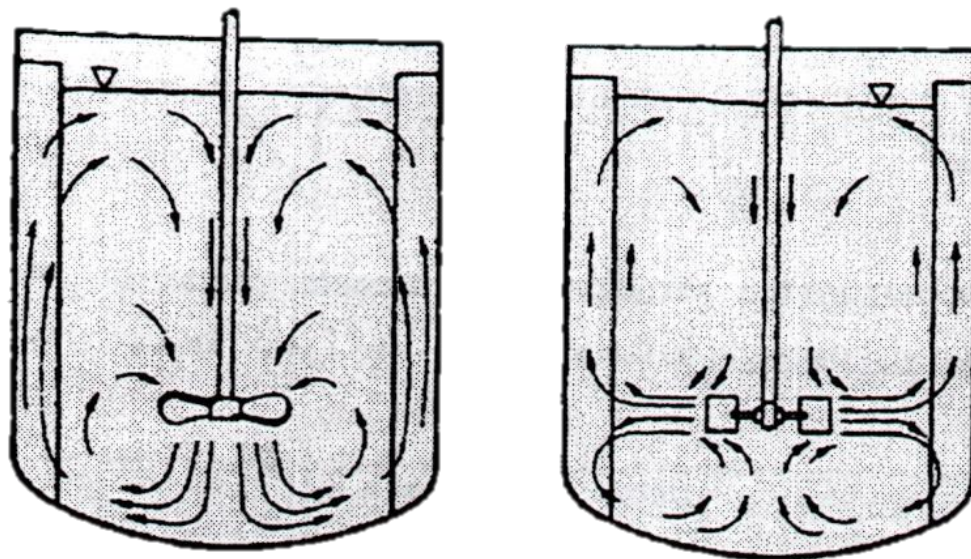
Tangentiaalisessa virtauksessa sekoitettava massa liikkuu sekoittimen tangenttiin suuntaisesti. Tällöin massan liikkumisnopeus on sama kuin sekoittajalla. (Pihkala 1998, 67.) Kuvassa 10 havainnollistetaan tangentiaalista virtausta sekoituksen aikana.



Kuva 10. Tangentiaalinen virtaus sekoituksen aikana (Pihkala 1998, 67).

Sekoittimen kierrosnopeutta lisäämällä on mahdollista muuttaa tangentiaalinen virtaus radiaaliseksi virtaukseksi. Radiaalisessa virtauksessa massa liikkuu sekoittimen säteen suuntaisesti. (Pihkala 1998, 68.) Kuvan 11 (s. 17) oikeanpuoleisen säiliössä (b.) havainnollistetaan radiaalista virtausta.

Aksiaalisessa virtauksessa massa liikkuu sekoittimen akselin suuntaisesti. Virtauksen suunnan ylös- ja alaspäin määrää sekoittimen lapojen muodostama kulma akselin suhteen. (Pihkala 1998, 68.) Aksiaalista virtausta käytetään matalan tai kohtuullisen viskositeetin omaavien massojen sekoittamiseen (McDonough 1992, 9). Kuvassa 11 (s. 17) vasemmanpuoleisessa säiliössä (a.) havainnollistetaan aksiaalista virtausta sekoituksen aikana.



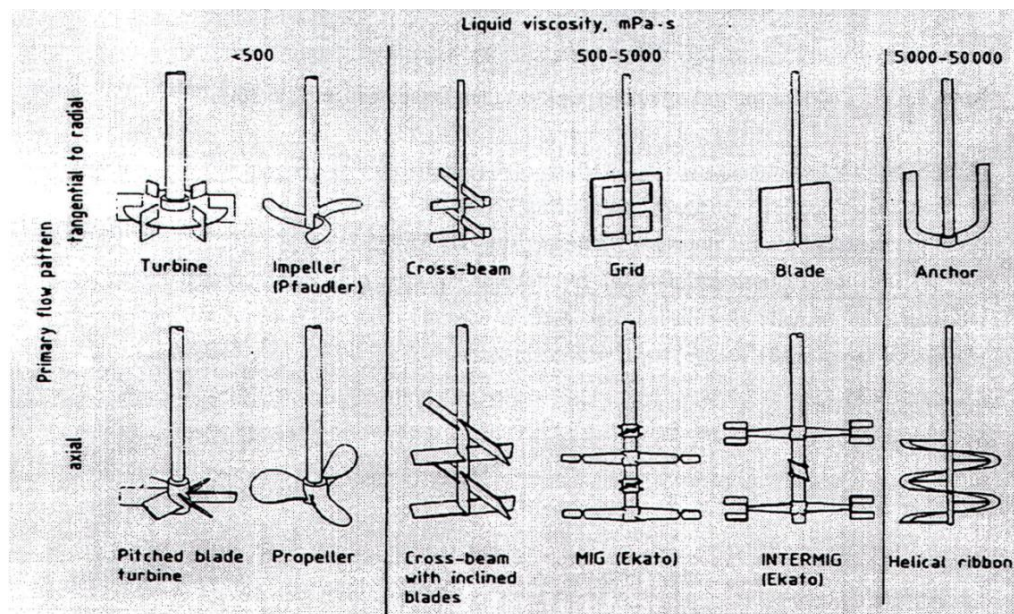
Kuva 11. Vasemmanpuoleisessa säiliössä (a.) kuvataan aksiaalista virtaus sekoituksen aikana. Oikeanpuoleisessa säiliössä (b.) kuvataan radiaalista virtausta sekoituksen aikana. (Tirri 2002, 175.)

### 3.2.3 Säiliöissä olevat sekoittimet

Sekoittimet voidaan jakaa sekoitusenergian tuontitavan mukaan staattisiin sekoittimiin ja dynaamisiin sekoittimiin. Staattiset sekoittimet pysyvät paikallaan sekoitusputkistojen ja sekoitussäiliöiden sisäosissa sekoitettavassa massassa. Dynaamisessa sekoituksessa sekoittimen sekoitussäiliön sisäosissa olevat osat liikkuvat. (Tirri 2002, 168–169.)

Massaa sekoitettaessa esiintyy sekä radiaalista että aksiaalista virtausta. Virtauksen määrittely tapahtuukin sen perusteella, kumpi näistä virtauslajeista on vahvempi. Virtauskuvioden mukaan sekoittimet voidaan jakaa niiden siipipyörien ominaisuuksien perusteella radiaalsiin ja aksiaalsiin sekoittimiin. Sekoitinta suunniteltaessa tarvittava virtauskuvio on tärkeä lähtökohta. Aksiaalisia siipipyöriä ovat esimerkiksi potkurit sekä vinottain sekoittimen akseliin nähden asennetut lavat. (McDonough 1992, 9.) Kuvaan 12 (s. 18) on koottu yleisiä radiaalisia ja aksiaalisia sekoitintyyppejä massan viskositeetin mukaan.





Kuva 12. Yleisimpiä sekoitintyyppjä. Ylärivissä olevilla sekoitintyypeillä aikaansaadaan tangentialista ja radiaalista virtausta. Alarivillä on aksiaalisia sekoitintyyppjä. Kahdella viivalla sekoitintyytit on jaettu kolmeen osastoon sekoitettavan massan viskositeetin perusteella. (Tirri 2002, 176.)

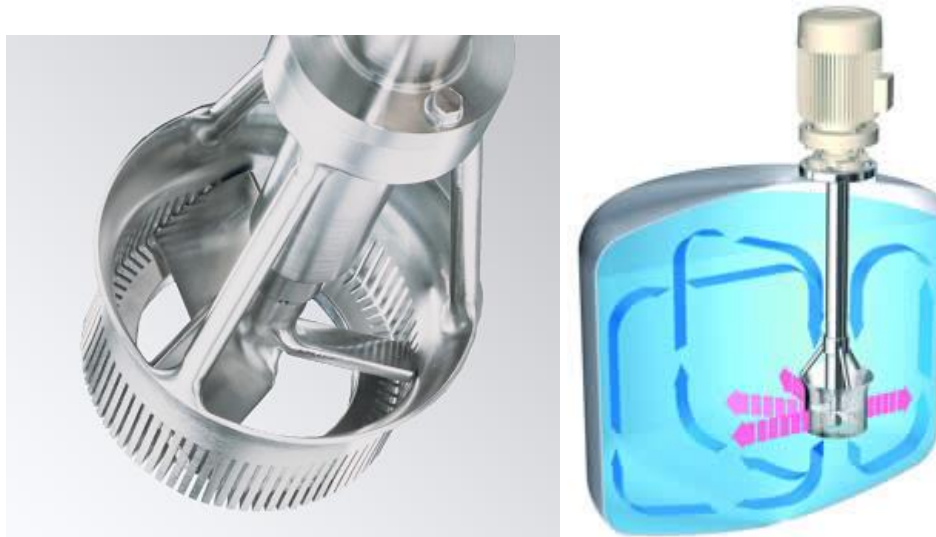
Turbiinisekoittimet sopivat erityisesti suuri viskoosisille massoille. Massa imeytyy sekoittajaan sen keskiosasta ja poistuu siipien päistä. Toimintaperiaate on siis kuten keskipakopumpulla. (Pihkala 1998, 69.)

Matalaviskoosisien massoja sekoitettaessa turbiinisekoittimella syntyy massaan radiaalinen virtaus. Viskositeetin noustessa virtaus muuttuu tangentialiaaliseksi. Sekoittimella massaan syntyy suuret leikkausvoimat. Turbiinisekoittimella saavutetaan suurin tehokkuus sekoitusestein varustetussa säiliössä pieniviskoosisilla nesteillä. Säiliön seinämien sijasta sekoitusesteet voivat sijaita sekoittimessa. Tällöin kyseessä on roottori-staattoriturbiinisekoitin. Roottori voi olla lapa- tai siipisekoitin ja sen ympärillä on staattori eli virtausesteet ympäröivät integroidusti roottoria. (Tirri 2002, 177.) Roottori-staattoriturbiinisekoitin voidaan asentaa sekoitussäiliölle kylkeen, pohjaan tai pystymallisesti. Roottori-staattoriturbiinisekoittimessa staattoriosan ollessa sileäpintainen sekoituksen leikkausvoimat pienenevät, jolloin se on tuotemassan kannalta hellävaraisempi tapa sekoittaa. Sekoitin aikaansaa tuotemassaan kohtisuoran turbulenttisen virtauksen säiliön pohjaosan mukaan lukien. Sekoituksessa ei muodostu vortex-ilmiötä. (Ystral gmbh 2015c.) Kuvassa 13 (s. 19) on sileäpintainen staattoriossa.



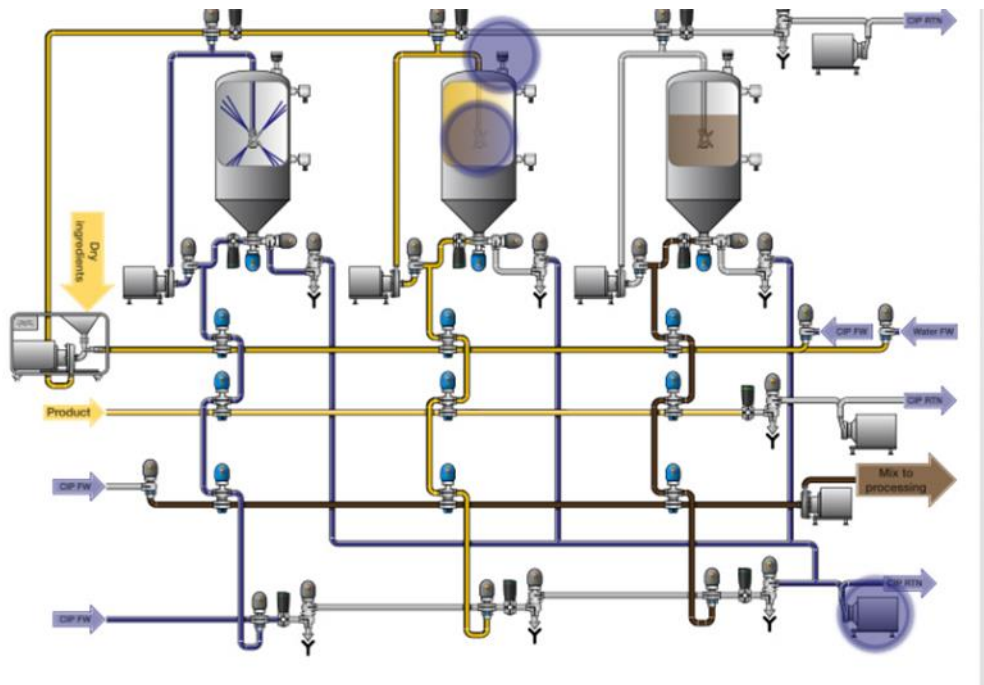
Kuva 13. Vasemmalla puolella on kuvattu roottori-staattori-turbiinisekoitin sileäpintaisella staattoriosalla. Oikealla puolella havainnollistetaan sekoittimen aikaansaamaa virtauskuviota. (Ystral gmbh 2015d.)

Turbiinisekoittimen roottori-staattoriyksikön reiällisellä staattoriosalla massaan kohdistuu suurempi leikkausvoima, jolloin se parhaiten sopii muun muassa emulgointiin, homogenointiin ja agglomeraattien hienontamiseen. Säiliössä oleva massa on kokonaisuudessaan turbulentsissa liikkeessä. (Ystral gmbh 2015e.) Kuvassa 14 on havainnollistettu reiällistä staattoriosaa ja sekoittimen aiheuttamaa virtauskuviota säiliöllä.



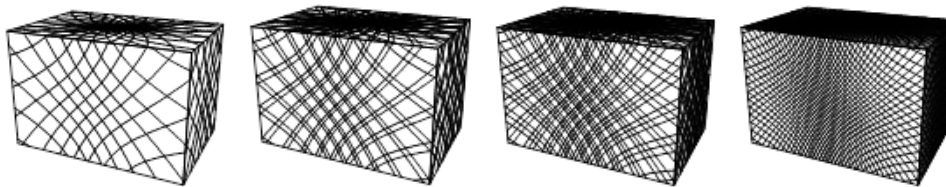
Kuva 14. Vasemmalla puolella on roottori-staattori-turbiinisekoitin reiällisellä staattoriosalla. Kuvan oikealla puolella on havainnollistettu sekoittimen muodostama virtaus massaan. (Ystral gmbh 2015f.)

Suuremmilla massamäärillä tehokkaaseen sekoitustulokseen päästään kun turbiinisekoitin on liitetty säiliön ulkoiseen kiertoon. Tähän kiertoon voidaan liittää jauheiden annostelu. Turbiinisekoittimen tulee olla säiliön nesteen pinnan alapuolella. Sekoittimen pyörimisnopeus on riippuvainen kierron virtausnopeudesta. Pyörimisen hallittavuuden parantamiseksi virtausnopeuksien vaihdellessa turbiinin tehoa säädetään ohjaimella ja vaihteistolla. Massan riittävä sekoitusaika on riippuvainen tehosta, massan viskositeetista, säiliön ja erän koosta sekä sekoittimien lukumäärästä. Kuvassa 15 on esitetty sekoittimen sijainti säiliössä ja säiliön ulkoinen kierto. Sekoitettava massa ohjautuu liuotuskierron paluussa sekoittimen turbiinin kautta säiliölle. Turbiinin pyörimisliike muuntuu vaihteen välityksellä sekoittimen rungon vaakasuuntaiseksi sekä suuttimien pystysuuntaiseksi pyörimisliikkeeksi. Yhdistetyn liikkeen ansiosta massa muodostuu sekoituskuvio kattaa koko säiliön, jolloin vältetään ”kuolleiden kulmien” syntymiseltä eli koko massa pysyy liikkeessä. Kuvassa 16 (s. 21) on havainnollistettu sekoittimen liikkeellä aikaansaattua sekoituskuviota. Massan sekoituksen ja säiliön tyhjentymisen jälkeen sekoitin toimii säiliön pesulaitteena. Tällöin säiliöön muodostuu pesuainesuihkut sekoituskuvioden tapaan. (ISO-MIX S/A 2007, 5–7.) Tämä tekniikka soveltuu parhaiten maitojauheen ennastamiseen ja maitotiivisteelle, ei niinkään kerman varastointiin. (Alfa Laval Corporate AB n.d.b.).



Kuva 15. Nestekierto alkaa säiliön pohjalta ja palautuu säiliöön sekoittimen kautta. Jauheiden liuotuksen ajan nestevirta kiertää mikserin kautta. Liuotuksen jälkeen massa kiertää säiliön ulkoista linjaa pitkin. Linjassa oleva pumppu ylläpitää nesteen virtausta. (Alfa Laval Corporate AB n.d.c.)





Kuva 16. Turbiinisekoittimen liike muodostaa sekoitusliikekuvion, joka on tässä esitetty pinnalle projisoituna. Ensimmäinen laatikko vasemmalta kuvaa sekoittimen muodostamaa karkeaa sekoituskuviota, kun keskiö suuttimineen on pyörähtänyt  $11\frac{1}{4}$  kertaa. Seuraavien kierroksien aikana sekoitusliikekuvio toistuu ja siirtyy aina neljäsosan verran sivulle. Lopulta 45:den pyörähdyksen jälkeen se on kattanut koko säiliön (ISO-MIX A/S 2007, 7.)

Lapa- ja potkurisekoittimilla aikaansaadaan aksiaalinen virtaus sekoitettavaan tuotemassaan. Tuotemassan viskositeetin ollessa korkea voidaan aksiaalisen virtauksen takaamiseksi sekoittimena käyttää kaltevalapaista palkki- tai ripasekoitinta. Nämä sopivat sekoittamiseen silloin kun tarkoituksena on homogenoida tai dispergoida kiintoainesta. (Tirri 2002, 178.)

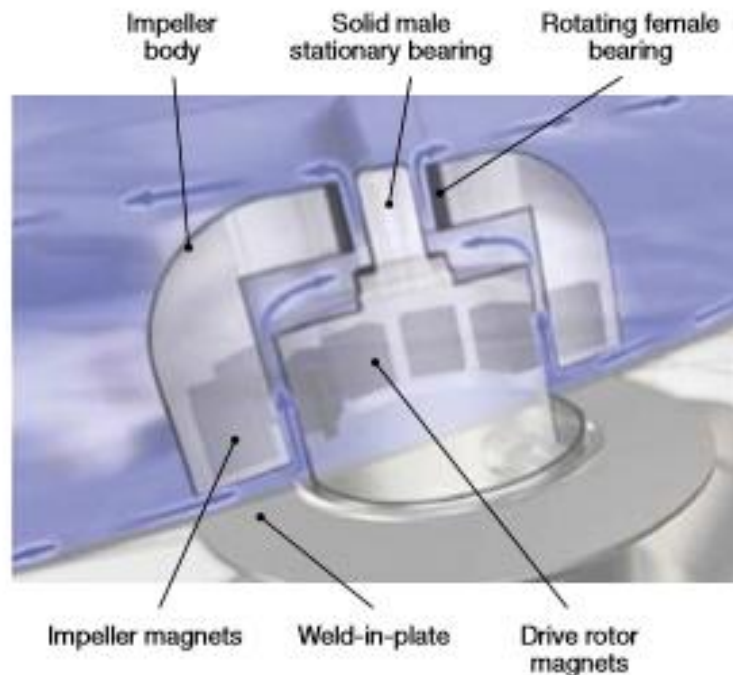
Lapasekoittimen pystyy asentamaan säiliöön joko vaakasuorasti, pystysuorasti tai vinottain. Lavat ovat suorakaiteen muotoisia ja ne voivat olla kiinni akseliin nähden vinosti tai kohtisuorasti. Akselissa voi olla kiinnitettynä useita lapoja eri korkeuksilla. (Pihkala 1998, 69.) Potkurisekoittimen käyttö on yleistä liuotuksen aikana. Akseliin voidaan asentaa useita potkureita. Säiliön pohjan tulee olla ympyräkartion muotoinen. (Pihkala 1998, 69.)

Agitaattori sekoitin sopii moniin eri sovelluksiin, myös korkeaviskoosisille massoille. Sekoittimen siipipyörä on suunniteltu erityisesti energiaa säästäväksi ja hygieeniseksi. Virtauksen kannalta optimoidulla muodolla voidaan päästä jopa 80 prosentin energian säästöön. (Alfa Laval n.d.d., 4.) Sekoittimen pyörivä liike saa aikaan suuren virtauksen matalilla leikkausvoimilla. Tällöin muodostuu tehokas aksiaalinen virtaus tuotemassaan, jolloin tuotemassa sekoittuu tehokkaasti koko säiliössä. (Alfa Laval n.d.e.) Kuvassa 17 (s. 22) on agitaattori sekoittimien eri malleja. Sekoittimille soveltuvia ja suositeltavia käyttökohteita on monia, esimerkiksi varastointisäiliöt ja jauheiden ennastamiseen (Alfa Laval Corporate AB n.d.b.)



Kuva 17. Agitator-sekoittimien eri malleja. Kuten kuvasta on havaittavissa sekoittimet suunnitellaan asennettavaksi joko pystymallisena, kylkisekoittajana ja pohjasekoittajana. (Alfa Laval n.d.d., 14.)

Magneettisekoittajan siipipyörässä on kahdeksan siipeä. Näistä kolme tai neljä ovat kooltaan suurempia. Näiden avulla sekoitukseen saadaan alhaisillakin pyörimisnopeuksilla voimakas sekoitus, joka sopii myös herkille massoille. Magneettisekoittimen pyörimisnopeus voidaan säätää halutuksi 5–750 rpm:n väliltä. Magneettikenttä vähentää kitkaa ja tekee sekoittimen puhdistumisesta tehokasta. (Alfa Laval Corporate AB n.d.f., 7.) Kuvassa 18 on esitetty magneettisekoittajan rakenne. Magneettisekoittaja soveltuu kohtalaisen hyvin muun muassa varastointisäiliöihin (Alfa Laval Corporate AB n.d.b.).



Kuva 18. Magneettisekoittajan rakenne (Alfa Laval Corporate AB n.d.f., 7.).

Palkki-, kehys- ja levysekoittimien massa muodostama virtauskuviot on radiaalinen. Sekoitettavasta massasta riippuen käytetään niiden yhteydessä virtausesteitä. (Tirri 2002, 178.)

Ruuvisekoittimia ja ankkurisekoittimia käytetään erittäin viskoosisten massojen sekoittamiseen. Ruuvisekoittajassa massa liikkuu sekoittimessa ylhäältä alaspäin säiliön seinämiä pitkin. Ankkurisekoittimessa säiliön seinämän ja roottorin väliin jää pieni tila. Tämä ehkäisee pohjasakan muodostumista. Yleensä ankkurisekoittimia käytetään lämmön siirtämiseen viskoosisessa massassa. (Tirri 2002, 178.)

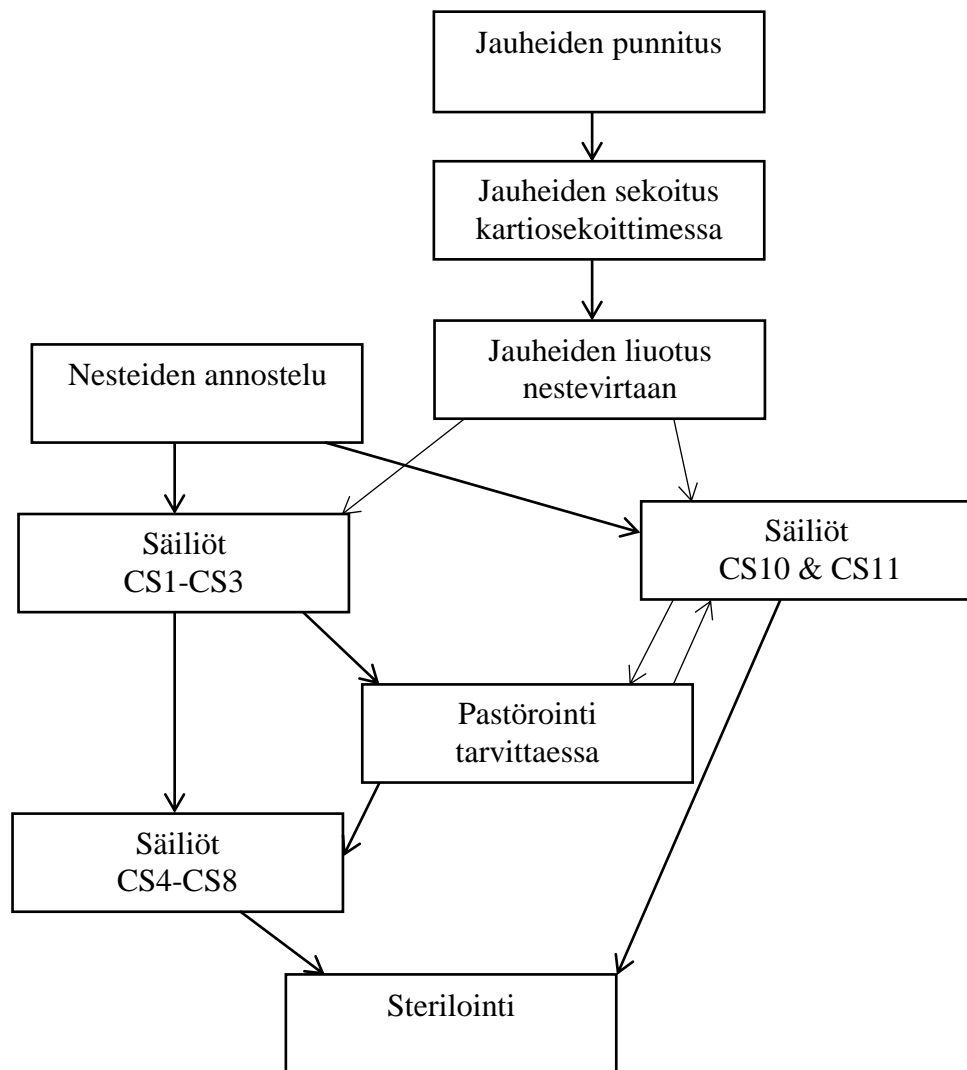
Sahahampainen kiekkosekoitin saa aikaan suuria leikkausvoimia ilman staattoria tai virtausesteitä. Sekoitettavaan massaan syntyy radiaalinen virtauskuvio kiihdytettäessä massaa ohuessa renkaassa. Sekoitin sopii laajalla viskositeettialueella oleville massoille. (Tirri 2002, 178.)

### 3.2.4 Sekoittimien sijainti säiliössä

Pystymallisilla sekoittimilla, joissa sekoittimen akseli on säiliön kannesta pohjaan sekä sekoituslapoja on useissa tasoissa, ilman sekoittuminen massaon on todennäköistä. Säiliön massan pinnakorkeuden ollessa sekoittimen lapojen kohdalla massaon vispautuu aina ilmaa. Ongelmia ilmenee myös CIP-pesussa sekoittimen akselin alalaakerin peseytyvyydessä. Sekoittimen asentamisella säiliön pohjalle tai kylkeen vältetään ilman sekoittamisesta massaon. Tämä edellyttää sitä, että säiliön massanpinta on sekoittimen yläpuolella. Taajuusmuuntajan avulla sekoittimen toimintaa voidaan säätää säiliön pinnan mukaan. Säiliön massanpinnan laskiessa sekoittimen kierrosnopeus hidastuu ja pinnan ollessa sekoittimen tasolla, sekoitin pysähtyy. (Kosonen, sähköpostiviesti 8.4.2015.)

## 4 MATERIAALIT JA MENETELMÄT

Tuotemassoja valmistetaan sekoitussäiliöihin CS1–CS3 ja CS10–CS11. Säiliöihin CS1–CS3 valmistettu massa siirretään välivarastosäiliöihin CS4–CS8 odottamaan sterilointia. Säiliöt CS10 ja CS11 toimivat myös välivarastointisäiliöinä massanvalmistuksen jälkeen. Kuviossa 2 (s. 24) on havainnollistettu maitopohjaisten tuotemassojen valmistusprosessia.



Kuvio 2. Tuotemassojen valmistusprosessin kulku Turengin tehtaalla. Jauheet punnitaan ja sekoitetaan kartiosekoittimessa, jonka jälkeen ne liuotetaan nestevirtaan. Liutuskierro kiertää säiliöiltä CS1–CS3 ja CS10–CS11 mikserille ja takaisin säiliölle. Tarvittaessa tuotemassat pastöroidaan ennen välivarastointia. Säiliöistä CS1–CS3 pastöroidaan säiliöihin CS4–CS8 sekä CS10–CS11. Säiliöistä CS10–CS11 pastöroidaan säiliöihin CS4–C8.

Maitopohjaisille tuotteille on yksi valmistuslinja. Jauheiden liuotus nestevirtaan tapahtuu yhdellä linjalla kartiosekoittajalla, valmistettaessa massa sekoitussäiliöihin tai monitoimisäiliöihin.

Maitopohjaisten tuotteiden valmistus aloitetaan valitsemalla resepti ja siirtämällä valmistusmäärän mukaan tarvittava neste sekoitussäiliöön. Nestevirtaan liuotettavat jauheet kulkevat vaakojen kautta kartiosekoittimelle, jossa ne sekoitetaan keskenään. Liutuskierrossa jauheiden liuotus nestevirtaan tapahtuu kartiosekoittimen alla olevan liuotinpään kautta. Nestevirta kiertää liuotuslinjassa liuottimelle ja takaisin säiliölle. Jauheiden annostelu alkaa, kun neste kierto on stabiloitunut eli liuotuslinja on kokonaisuudessaan täyttynyt nesteestä. Liutuskierro kestää niin kauan, että koko tarvittava jauhemäärä annosteltu

nestevirtaan. Liuotuksen jälkeen voidaan massaan vielä lisätä tarvittava määrä nestettä.

### 4.1 Tuotemassan liuotuskierto

Nestevirta kiertää jauheiden liuotuksessa liuotuslinjaa pitkin. Liuotuskierto alkaa säiliön pohjalta ja linja jatkuu alaspäin noin 6 metriä jauheiden annosteluun. Jauheiden annostelun jälkeen liuotuslinja lähtee nousemaan ylöspäin meijerisalin yläosiin asti. Nousua kertyy noin 12,5 metriä. Liuotuslinja kiertää säiliörivin mukaan. Liuotuslinjasta laskeutuu lähes säiliöiden pohjalle asti liuotuskierron paluuputki.

Eroja liuotuslinjaan tulee vasta, kun linja eroaa käytössä olevalle säiliöille. Säiliöille CS10 ja CS11 tulevat liuotuslinjan paluupuolella putkien päät ovat ylempänä verrattuna säiliöiden CS1–CS3 liuotuslinjojen päihin. Putkien päät ovat lähellä säiliön pohjaa ja kohtisuoraan säiliön pohjaa vasten. Säiliön pohjalle palautuvan liuotuskierron tarkoituksena on estää tuotemassan kosketus ilmaan liuotuskierrolla, jolloin vaahtoutuminen vähenisi.

#### 4.1.1 Liuotuskierron pumput

Liuotuslinjassa on kolme pumppua, jotka ovat keskipakopumppu, liuotuspumppu ja nesterengaspumppu. Keskipakopumppu sijaitsee liuotuslinjassa lähtöpuolella ennen jauheiden annostelua. Sen tarkoituksena on siirtää neste säiliöltä jauheiden annosteluun. Liuotuspumppu eli imupumppu sijaitsee jauheiden kartiosekoittajan alapuolella. Sen tarkoituksena on sekoittaa jauhe ja nestevirta keskenään. Nesterengaspumppu toimii vauhdituspumppuna liuotuskierron paluu puolella.

Mikserissä nesteen suurin mahdollinen virtausnopeus on 35 000 litraa tunnissa. Jauhetta annostellaan noin 2 500–3 000 kg tunnissa. Keskipakopumpussa ja nesterengaspumpussa nesteen suurin virtausnopeus on 50 000 litraa tunnissa. Nestevirran virtausnopeutta liuotuksessa ei ole tehtaalla mitattu aiemmin. Oletettavasti virtausnopeudet tässä vaiheessa määräytyvät tuotemassakohtaisesti, eikä pitäisi olla muutoksia valmistettaessa tuotemassaa sekoitussäiliöihin tai monitoimisäiliöihin. Virtauslaji liuotuksen jälkeen vaihtelee laminaarista virtauksesta turbulenttiseen. Tuotemassojen liuotuksen aloituksissa ja lopetuksissa virtaus on turbulenttista. Vaihtelua virtauslajeihin voivat aiheuttaa myös esimerkiksi putkistossa olevat mutkat ja pumput.

Siirtolinjassa sterilisaattoreille säiliöiltä CS4–CS8 käytetään keskipakopumppua. Säiliöiltä CS10–CS11 siirrettäessä käytössä on lohkoroottoripumppu. Pumppujen erot vaikuttavat sterilisaattorin syöttösuppilolle tulevaan vaahton määrään säiliön tyhjentyessä. Lohko-roottoripumppu siirtää ilmavaa massaa keskipakopumppua paremmin.

### 4.1.2 Liuotuskierron lämpötila

Tuotemassojen valmistuslämpötilat vaihtelevat raaka-aineiden ominaisuuksien ja reseptien mukaan. Osassa tuotteista neste kuumennetaan noin 50 °C:seen ennen liuotuksen alkamista. Tällöin liuotettavat raaka-aineet saadaan liukenemaan helpommin nesteeseen. Massat jäähdytetään noin 10 °C:seen ennen välivarastointia. Nesteiden lämpötilanmuutos tapahtuu levylämmönvaihtimen kautta.

Säiliöissä CS1–CS11 ei ole jäähdytystä. Tuotemassojen säilytyslämpötila määräytyy siten sen mukaan, mikä massan lämpötila säiliöön siirrettäessä on ollut. Säiliöiden sisäpintojen ja ulkopintojen välissä on eristekerros, jonka tarkoituksena on pitää tuotemassa viileänä. Massoja ei ole tarkoituksellista säilyttää välivarastoinnissa useita tunteja. Tuotantoprosessin edetessä sujuvasti massojen säilytysajat ovat optimit. Säiliöissä CS10–CS11 olevien massojen lämpötilamittaus ei ole ollut kytkettynä tehdastietojärjestelmään. Säiliöissä CS4–CS8 ei ole lainkaan lämpötilan mittausta. Historiatietoja lämpötiloista ei siis ollut saatavilla.

### 4.2 Ilmapuhallus

Säiliöihin CS10–CS11 siirrettäessä rasvatonta maitoa tai kermaa käytetään siirron lopuksi linjan tyhjentämiseen ilmapuhallusta. Tämä johtuu siitä, että nesteiden siirtolinjat näihin säiliöihin ei yhdisty muuhun linjaan. Säiliöihin CS1–CS3 näitä siirrettäessä ilmapuhallusta ei tarvita.

Seurattaessa kerman ilmapuhallusta havaittiin, että ilmapuhallus saa säiliöllä olevan massan voimakkaaseen liikkeeseen. Pintaan muodostui lisää vaahtoa ja ilmapuhalluksen jälkeen isoja ilmakuplia nousi vaahtomaton läpi. Mahdollisesti vaahtopatjan alle jää ilmaa, joka sekoittuu massaan ja voimistaa vaahtoa. Ilmapuhalluksen aiheuttama vaahto vaikutti kuitenkin kevyeltä. Vaahdon säilymistä seurattaessa havaittiin, että vaahto ei laskeutunut. Kuvassa 19 (s. 27) on kuvattu kerman ilmapuhalluksen vaikutusta kerman pinnalla. Kuva 20 (s. 27) on ilmapuhalluksen jälkeisestä vaahdosta.



Kuva 19. Kuvassa ilmapuhallus on juuri alkanut. Ilmapuhalluksen myötä massan pinta on voimakkaassa liikkeessä ja vaahtoa muodostuu.



Kuva 20. Ilmapuhalluksen jälkeinen vaahto tuotemassan pinnalla.

Seurattaessa ilmapuhalluksessa muodostuneen vaahdon säilymistä havaittiin, että vaahto ei sammunut kuuden tunnin varastoinnin aikana. Kuvassa 21 (s. 28) on havainnollistava neljän kuvan sarja ilmapuhalluksen aiheuttamasta vaahdosta ja sen säilymisestä kuuden tunnin ajalta.



Kuva 21. Ilmapuhalluksen muodostaman vaahdon säilyminen.

### 4.3 Säiliöt

Säiliöt CS1–CS11 ovat muodoiltaan kartiopohjaisia ympyrälieriöitä. Säiliöihin valmistettavien massojen tilavuus määräytyy tuotantosuunnitelman mukaan.

Vertailtaessa säiliöitä CS1–CS3 ja CS10–CS11 keskenään löytyy monia geometrisia eroja. Säiliöt poikkeavat toisistaan tilavuudessa, korkeudessa, halkaisijassa ja pohjan kaltevuudessa. Kuvassa 22 (s. 29) on havainnollistettu pohjan kaltevuuksien eroja.

Säiliöt CS1–CS3 ovat tilavuudeltaan  $19 \text{ m}^3$  ja niiden ympyrälieriöosuudet ovat korkeudeltaan 3,2 metriä. Sisäpuolelta säiliöiden halkaisija on 2,73 metriä.

Säiliöiden CS10–CS11 tilavuudet ovat  $13,7 \text{ m}^3$ . Niiden ympyrälieriöosuus on korkeudeltaan 2,8 metriä. Sisäpuolelta säiliön halkaisija on 2,4 metriä. Kartiopohja laskeutuu 30 asteen kulmassa.





Kuva 22. Pohjien kaltevuuseron havainnollistamiseksi kuvaan on laitettu rinnakkain kuvat sekoitussäiliön pohjasta ja monitoimisäiliön pohjasta. Ensimmäinen kuva on sekoitussäiliön pohjasta ja toinen monitoimisäiliön pohjasta.

### 4.3.1 Säiliöiden CS1–CS3 sekoittimet

Sekoitussäiliöissä CS1–CS3 sekoittimina ovat sekä pystysekoittajat että kylkisekoittajat. Niiden käyttö määräytyy valmistusreseptien mukaan. Sekoittajien tarkoituksena on tehostaa jauheen liukenemista nesteeseen ja estää niiden erottuminen.

Kylkisekoittaja on roottori-staattoriturbiinisekoitin, jonka staattoriosaa on sisäpintainen. Kylkisekoittimen teho on 11 kWh ja sen aikaansaama suurin mahdollinen kierrosnopeus on 1 450 rpm. Säiliön keskellä on pystysekoittaja, jonka tehon tarve on 1,5 kWh. Pystysekoittajassa on 4 kappaletta vinoittain asetettuja lapapareja. Lavat ovat pituudeltaan ja leveydeltään lyhyempiä kuin säiliössä CS10 ja CS11 olevien sekoittimien lavat. Säiliöiden CS1–CS3 pystysekoitin on säiliöissä CS4–CS8 olevien sekoittimien kaltainen. Kuvassa 23 (s. 30) on sekoitussäiliössä olevat sekoittimet.



Kuva 23. Sekoittajien sijoittuminen sekoitussäiliöissä CS1–CS3.

#### 4.3.2 Säiliöiden CS4–CS8 sekoittimet

Välivarastosäiliössä CS4–CS8 sekoitukseen käytetään säiliön keskellä sijaitsevia pystysekoittajia. Pystysekoittimissa on viisi vinoittain asetettua lapaparia. Sekoittimen tehon tarve on 1,5 kWh. Välivarastoinnin aikana sekoitusta käytetään tiheydeltään raskaampien ainesosien säiliön alaosaan painumisen ehkäisemiseksi. Kuvassa 24 (s. 31) on välivarastosäiliön sekoitin.



Kuva 24. Välivarastosäiliöiden sekoittimet.

### 4.3.3 Säiliöiden CS10–CS11 sekoittimet

Säiliöissä CS10 ja CS11 on vain pystysekoittajat. Sekoittimet ovat kooltaan huomattavasti suuremmat kuin säiliöissä CS1–CS8. Sekoittajien lavat ovat pidempiä, leveämpiä sekä paksumpia. Sekoittimien hankintavaiheessa vuonna 1995 isokokoisemmilla sekoittajilla on haettu tehokkaampaa tuotemassojen sekoittamista. Tarkoituksena on ollut saada viskositeetiltaan korkeampien massojen sekoittaminen optimaaliseksi.

Kylkisekoittimia säiliöön ei ole asennettu. Tarkoituksena on ollut, että jauhe sekoittuu nesteeseen liuotuskierron aikana. Tämän jälkeen sekoittimet toimivat välivarastoinnin tapaan. Tällä hetkellä sekoittimia käytetään kuten sekoi-

tussäiliöissä tehostamaan liuotuskierrolla nestevirtaan liuotettavan jauheen ta-  
saista sekoittumista nesteeseen. Välivarastoinnin aikana sekoittimilla estetään  
tiheydeltään erilaisten ainesosien erottuminen. Sekoitushjelma voidaan  
muuttaa välivarastoinnin aikana.

Pystysekoitin ei sijaitse säiliön keskiössä vaan reunalla. Sekoittimessa on  
kolme vinottain asetettua lapaparia. Näistä säiliön pohjalla alimmaisena on  
kooltaan pienempi lapapari. Kaksi muuta lapaparia ovat suurempia kooltaan.  
Sekoittimen vaatima teho on 1,5 kWh. Kuvassa 25 on säiliöin CS11 sekoitin.

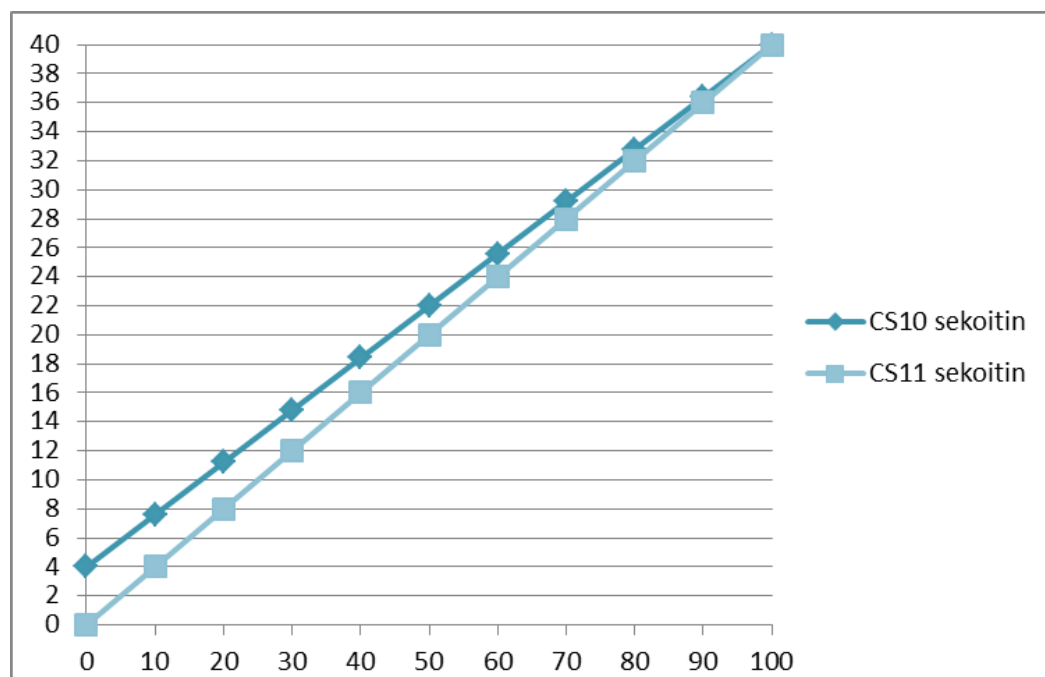


Kuva 25. Säiliön CS11 sekoitin. Samanlainen sekoitin on myös säiliössä CS10.

Sekoittimien pyörimisnopeudet säiliöissä ja sekoitusohjelmat määräytyvät  
tuotemassakohtaisesti. Tarvittaessa valvomosta niiden parametreja voidaan  
muuttaa massanvalmistuksen aikana. Sekoitushjelmina toimivat jatku-  
vasekoitus tai taukosekoitus. Jatkuvalla sekoituksella tuotemassaa sekoitetaan  
pääsääntöisesti tauotta, lukuun ottamatta laboratorion näytteenottoaika. Tau-  
kosekoituksessa taukojen pituus ja sekoitusaika mitataan sekunteina. Suh-  
teutettuna tauko aika on yleensä pidempi kuin itse sekoitusaika.

Sekoittimien pyörimisnopeuksia ohjataan valvomosta prosentteina. Prosentteja pienennettäessä sekoittimen nopeus hidastuu ja vastaavasti nostettaessa sekoittimen nopeus kasvaa. Säiliöiden CS10 ja CS11 sekoittimien kierrosnopeudet ovat korkeitaan 40 rpm. Maksimikierrosnopeus on toteutettu sekoittimen moottorin vaihteiston avulla. Moottorissa itsessään kierrosnopeus on 1 500 rpm. (Heikkinen, sähköpostiviesti 5.3.2015)

Taajuusmuuntajien parametrionnista johtuen sekoittimien kierrosnopeudet prosenteilla säädettyinä eivät ole identtiset. Sekoittimien prosentuaalisen ohjauksen ollessa 0–100 %, kierrosnopeuksien ohjausrajat ovat CS10:ssä 4–40 rpm ja CS11:ta 0–40 rpm. Kuvio 3 kuvaa sekoittajien laskennallisia pyörimisnopeuseroja, kuten kuviosta huomaa ovat eroavaisuudet suurimmillaan pienillä prosenttiohjauksilla. Optimaalisen sekoittamisen takaamiseksi tulisi sekoittimien pyörimisnopeuksien olla identtisiä samalla prosenttiohjauksella. (Heikkinen, sähköpostiviesti 5.3.2015)



Kuvio 3. Sekoittimien pyörimisnopeuksien erot ennen uudelleen parametrointia. Parametroinnin jälkeen molemmat sekoittimet pyörivät ohjausrajoilla 4–40 eli kuten CS10:n sekoitin aiemmin.

Nopeuserojen tasoittamiseksi säiliön CS11 sekoittimien nopeudet parametroidiin säiliön CS10 sekoittimen kaltaiseksi. Sekoittimien käytössä on huomiotava, että alle 10 prosentin pyörimisnopeuden säädöllä sekoittimen pyörimismoottorin jäähdytyspuhaltimen siipi pyörii hiljaa ja voi johtaa moottorin ylikuumenemiseen

#### 4.4 Sterilisaattoreiden ylimääräiset pesut

Sterilisaattoreiden ylimääräisiä vaahtoamisesta aiheutuneita pesukertoja selvitettiin tehdastietojärjestelmän avulla. Aineistoksi valittiin vuoden 2014 aikana tehdyt ongelmia aiheuttaneet tuotemassat A ja B. Tuotemassat vaahtoutuvat valmistuksen aikana säiliöissä CS1–CS3 sekä CS10–CS11. Säiliöihin CS1–CS3 valmistetut tuotemassat siirretään välivarastointiin ennen sterilointia säiliöihin CS4–CS8. Vaahtoutunut osa tuotemassaa ei siirry, vaan jää säiliöiden CS1–CS3 pohjalle. Tällöin vaahtoutunut tuotemassa ei aiheuta ongelmia sterilisaattoreilla, mutta lisää tuotehävikkiä. Säiliöihin CS10–CS11 valmistettua tuotemassaa ei siirretä säiliöihin CS4–CS8. Taulukkoon 4 on kerätty tiedot säiliöihin CS10 ja CS11 valmistetuista näistä tuotemassoista sekä tiedot siitä, onko sterilisaattori mennyt epästeriiliksi.

Taulukko 4. Vuonna 2014 valmistettujen tuotemassojen A ja B erämäärät ja sterilisaattorin epästeriiliksi menokerrat

Säiliö	Valmistetut erämäärät		Sterilisaattori epästeriiliksi	
	Massa A	Massa B	Massa A	Massa B
CS10	106	14	2	6
CS11	109	6	0	2

Vuonna 2014 näitä tarkasteluun otettuja vaahtoavia massoja valmistettiin yhteensä 235 erää. Vaahtoamisen vuoksi sterilisaattori meni epästeriiliksi 10 kertaa. Näiden kertojen lisäksi on lukuisia läheltä piti-tilanteita, jolloin sterilisaattorin epästeriiliksi meno on estetty jättämällä säiliöön massaa ajamatta tai suihkuttamalla kuumaa vettä sterilisaattorin tuotesuppiloon vaahton sammuttamiseksi. Mahdollisuuksien mukaan ajamatta jäänyt massa pyritään hyödyntämään.

## 5 VAAHTOUTUMISKOKEIDEN TULOKSET JA TARKASTELU

Vaahtoamisen syytä lähdettiin kirjallisuusosan perusteella selvittämään kahdella eri tavalla. Tarkoituksena oli selvittää sekoittajien pyörimisnopeuden vaikutus tuotemassojen vaahtoutumiseen liuotuskierto-, välivarastointi- ja sterilointisekoituksen aikana. Tutkittaviksi tuotemassoiksi valittiin tällöin tuotemassat A ja B. Sekoitusnopeuden muutoksella haettiin kustannustehokasta ja nykyisellä laitteistolla helposti toteutettavaa ratkaisua tuotemassan vaahtoutumiseen. Tuotemassoilla sekoitusnopeudet ja taukoajat ovat reseptikohtaiset. Laboratoriomittakaavassa tutkittiin opinnäytetyön kirjallisuusosan tietojen perusteella liuotuksen lämpötilan vaikutusta tuotemassa B:n vaahtoutumiseen. Tuotemassa B valittiin ainoaksi tutkittavaksi massaksi, koska se sisältää runsaan määrän liuotettavia jauheita.

## 5.1 Sekoittimien pyörimisnopeuden vaikutus vaahtoomiseen

Tutkimuksen toteutusajankohta määräytyi tuotanto-ohjelman mukaan siihen, kun tutkittavia tuotemassoja kuuluikin valmistaa. Tuotemassat valmisti massanvalmistusvuorossa oleva tuotemestari. Opinnäytetyötä tehdessä ja tehtaan toisen säiliösekoittimien säätö -projektin myötä selvisi, että säiliöiden CS10–CS11 sekä CS1–CS3 sekoittimien pyörimisnopeudet eivät ole samat vaikka prosentuaalinen ohjaus olisi säädetty samaan arvoon. Vertailukelpoisten tulosten aikaan saamiseksi tuotemassat valmistettiin samaan säiliöön. Tässä tutkimuksessa tuotemassat valmistettiin CS10-säiliöön. Tarkoituksena oli tutkia massojen tilavuuden muutosta ja mitata vaahtopatjan paksuus. Näitä mittauksia ei kuitenkaan voinut tehdä säiliöissä olevilla paineantureilla, joten massojen vaahtoutumista seurattiin silmämääräisesti valmistuksen, välivarastoinnin ja steriloinnin ajan. Havainnointi tehtiin huolellisesti.

### 5.1.1 Tuotemassa A

Tutkimuksessa tuotemassaa A valmistettiin kolme tilavuudeltaan samankokoista erää. Sekoittimen pyörimisnopeudet eri erille 1–3 säädettiin siten, että erällä 1 sekoitin pyöri mahdollisimman pienellä nopeudella (10 %), erällä 2 sekoitin ei pyörinyt ollenkaan ja erällä 3 sekoittimen normaalilla pyörimisnopeudella. Taulukkoon 5 on koottu sekoittimien toiminta eri erissä.

Taulukko 5. Sekoittimien käyttösuunnitelma koeajoihin. Erä 3 valmistettiin tehtaalla aiemmin tuotemassalla A olleella reseptikohtaisella sekoitusohjelmalla. Sekoitusnopeuden laskun vaikutuksia vaahtoomiseen selvitettiin erien 1 ja 2 avulla.

	Pystysekoittajan käyttö		
	Liuotus	Välivarastointi	Sterilointi
Erä 1	-	-	-
Erä 2	15 %	15 % taukosekoitus (sekoitus 30 sek, tauko 600 sek)	30 % taukosekoitus (sekoitus 30 sek, tauko 600 sek)
Erä 3	30 %	30 % taukosekoitus (sekoitus 30 sek, tauko 600 sek)	30 % taukosekoitus (sekoitus 30 sek, tauko 600 sek)

Tutkimuksissa eri eristä saadut tulokset on koottu taulukoihin 6–14 (sivut 36–39) ja kuviin 26–28 (sivut 37–40). Taulukkoon 6 (s. 36) on koottu silmämääräiset tulokset massan vaahtoutumisesta liuotuskierron aikana ilman sekoitusta.



Taulukko 6. Liuotuskierto erällä 1

Valmistettavan massan koko:		Massan rasva-%:		
Massan sekoittuminen	Lisäsekoisäsekoituksen tarve	Vaahdon määrä ja rakenne		
		Liuotuksen alussa	Liuotuksen lopussa	Vaahdon kuvailu
Liuotusputken vastapuolella oleva massa seisoi paikallaan liuotuksen ajan. Kerman pumppauksen aikana pientä sekoitusliikettä massan pinnan alla. Viimeinen ilmapuhallus sekoitti tehokkaasti koko massan.	ei	ei juurikaan	tasainen, hento vaahdot pinnalla	Vaahdot oli pehmeän näköistä, ohut tasainen kerros

Taulukkoon 7 on koottu silmämääräiset tulokset tuotemassan vaahdotumisen välivarastoinnin aikana ilman sekoitusta.

Taulukko 7. Tuotemassan vaahdotuminen välivarastoinnin aikana erällä 1

Vaahdon määrä silmämääräisesti arvioituna	
Välivarastoinnin alussa	Välivarastoinnin lopussa
Ohut kerros pinnalla, määrä vähäinen	Muutaman senttimetrin kerros, pintaa ei näkynyt reunoilla

Taulukkoon 8 on koottu tulokset tuotemassan vaahdotumisesta steriloinnin aikana ilman sekoitusta. Kuvassa 26 (s.37) on esitetty vaahdon määrää säiliölä steriloinnin alkaessa.

Taulukko 8. Tuotemassan vaahdotuminen steriloinnin aikana erällä 1

Arvio vaahdon määrästä			
Steriloinnin alussa	Steriloinnin lopussa	Vaahdot jäi säiliöön	Steriloinnin lopetus
muutaman sentin kerros, pinta näkyvissä reunoilta	muutaman sentin kerros	29 l	Ei lisätty kuumaa vettä suppiloon, streptolisaattori ei mennyt epästeriiliksi





Kuva 26. Vaahdon määrä tuotemassan pinnalla steriloinnin alkaessa valmistuserällä 1. Tuotemassan pintaa näkyy hieman reunoilta.

Taulukossa 9 on kerätty tuloksia tuotemassan vaahtoutumisesta massanvalmistuksen ajan sekoitusnopeuden ollessa säädettyä 10 prosenttiin.

Taulukko 9. Massanvalmistuksen vaahtoisuus erällä 2

Massan sekoittuminen	Lisäsekoituksen tarve	Vaahdon määrä ja rakenne		
		Liuotuksen alussa	Liuotuksen lopussa	Kommentteja
Massan sekoittumisessa ei havaittu ongelmia	Ei	Erittäin vähän kevyttä vaahtoa, pinta näkyi selkeästi.	Vaahdon määrä ei lisääntynyt,	Kerman annostelun loputtua vaahtoa oli enemmän kuin liuotuksen lopussa. Vaahtoa ohut kerros, muttei pinta ollut enää näkyvillä.

Taulukossa 10 (s. 38) on koottu havainnot vaahdon määrän muuttumisesta välivarastoinnin ajan 10 prosentin sekoituksella.

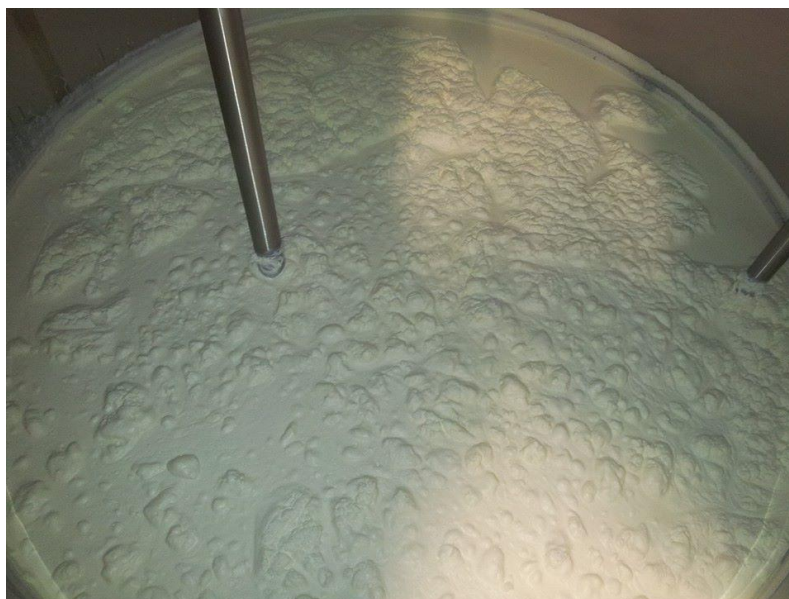
Taulukko 10. Välivarastointi erällä 2

Vaahdon määrä silmämääräisesti arvioituna	
Välivarastoinnin alussa	Välivarastoinnin lopussa
Ohut vaahtokerros, pintaa ei näy.	Hyvin vähän

Taulukossa 11 on havainnot vaahtoamisesta steriloinnin aikana. Kuvassa 27 on havainnollistettu vaahdon määrää tuotemassan pinnalla steriloinnin alkaessa.

Taulukko 11. Steriloinnin aikainen varastointi erällä 2

Arvio vaahdon määrästä		Tuotetta jäi säiliöön	Vaahdon määrä sterilisaattorin suppilolla
Steriloinnin alussa	Steriloinnin lopussa		
Ei paljoakaan, massan pinta näkyi selkeästi.	Muutaman senttimetrin kerros vaahtoa. Pinta näkyvissä säiliön reunoilta ja sekoittajan kohdalta.	29 l	Melko tavanomainen määrä, tuotesuppiloon laskettu kuumaa vettä. Sterilisaattori ei mennyt epästeriiliksi.



Kuva 27. Vaahdon määrä tuotemassan pinnalla steriloinnin alkaessa sekoittimen ollessa 10 prosentin ohjauksella. Verrattaessa kuvaan 26 (s. 36) havaitaan, että vaahdon määrä on vähäisempi.

Sekoittimen vaikutuksen vertailuun valmistettiin ja seurattiin yksi massa normaalien sekoitusparametrien (30 %) mukaan. Taulukkoon 12 (s.39) on koottu havainnot massanvalmistuksen aikana.

Taulukko 12. Massanvalmistus erällä 3

Massan sekoittuminen	Lisäsekoituksen tarve	Vaahdon määrä ja rakenne		
		Liuotuksen alussa	Liuotuksen lopussa	Vaahdon kuvailu
Massan sekoittumisessa ei havaittu ongelmia	Ei	Erittäin vähän	Hieman lisääntynyt	Vaahto kevyttä

Taulukossa 13 on havainnot tuotemassan vaahtoutumisesta välivarastoinnin aikana.

Taulukko 13. Tuotemassan välivarastointi erällä 3

Vaahdon määrä silmämääräisesti arvioituna		
Välivarastoinnin alussa	Välivarastoinnin lopussa	Vaahdon rakenne
Pintaa ei näy. Muutama senttimetrin vaahdotilvikerros pinnalla.	Vaahdon määrä vähentynyt säiliön reunoilta.	Melko paksua vaahtoa, ei kuitenkaan kovaa

Taulukkoon 14 on koottu havainnot vaahtoutumisesta steriloinnin aikaisesta varastoinnista. Kuvassa 28 (s. 40) on valmis tuotemassa 30 prosentin ohjauksella sekoitettuna. Vertailtaessa kuvia 26 (s. 37), 27 (s. 38) ja 28 (s. 40) keskenään, havaitaan, että 10 prosentin sekoituksen ohjauksella vaahdon määrä massan pinnalla on vähäisempi.

Taulukko 14. Tuotemassan vaahtoutuminen steriloinnin aikaisen varastoinnin aikana erällä 3

Arvio vaahdon määrästä		Tuotetta jäi säiliöön	Vaahdon määrä sterilisaattorin suppilolla
Steriloinnin alussa	Steriloinnin lopussa		
Vaahtoa vähemmän säiliön reunoilla	Vaahdon määrä ei ole lisääntynyt paljoakaan	25 l	Kevyttä vaahtoa jonkin verran. Sterilisaattori ei mennyt epästeriiliksi



Kuva 28. Tuotemassan vaahtoutuminen normaalilla 30 % sekoituksen ohjauksella

Kolmen sekoituskokeilun jälkeen pääteltiin sekä kommentteja että valokuvia apuna käyttäen, että sekoittimen ohjauksella 10 prosenttiin saadaan vaahtoaamista hieman hillittyä.

Sekoitusnopeuden muutoksen jälkeen tuotemassaa A on valmistettu säiliöihin CS10 ja CS11 39 kertaa. Näistä kerroista sterilisaattori on mennyt epästeriiliksi vain kerran. Tällöin tuotemassan eräkokoa oli 3 000 kg eli huomattavasti normaalia eräkokoa pienempi. Sekoitusnopeus palautettiin takaisin 30 prosenttiin kaikkien säiliöiden sekoittimien muututtua taajuusmuuntajilla ohjattaviksi. Optimaalisia sekoitusnopeuksia kartoitetaan uudelleen kaikkien sekoittimien pyörimisnopeuksien tullessa identtisiksi.

### 5.1.2 Tuotemassa B

Tuotemassalla B sekoittimen alkuperäinen pyörimisnopeus oli 40 prosenttia. Sekoitusnopeuden vaikutuksen selvittämiseksi tehtiin kaksi koeajoa sekoittimien nopeuksilla 20 prosenttia ja 10 prosenttia. Havaintojen perusteella 20 prosentin sekoitusnopeudella ei ollut vaikutusta tuotemassan vaahtoutumiseen. Sekoittimen pyörimisnopeuden ollessa 10 prosenttia havaittiin, että sekoittimen liike ei riittänyt pitämään tuotemassaa homogeenisenä. Kiinteät partikkelit olivat painuneet säiliön pohjalle. Sterilisaattorilla tämä paksu massa aiheutti huomattavia ongelmia levylämmönvaihtimella.

## 5.2 Lämpötilan vaikutus tuotemassan vaahtoamiseen

Lämpötilan vaikutusta massojen vaahtoamiseen tutkittiin Hämeen ammattikorkeakoulun elintarvikelaboratoriossa. Tutkimuksen tavoitteena oli löytää

lämpötila, jossa tuotemassan voimakas vaahdonmuodostuminen vähentyisi. Tutkimuksessa tutkittiin tuotemassaa B. Tuotemassan raaka-aineet olivat samoja kuin tehtaallakin käytetyt. Tutkimuksessa vaahtoaminen mitattiin tuotemassan tilavuuden muutoksena jauheiden lisäyksen ja sekoituksen jälkeen.

Tutkimuksessa vaahtoutumista tutkittiin viidessä eri lämpötilassa. Kokeessa tuotemassan valmistukseen käytetyn nesteen eri lämpötilat olivat 10 °C, 20 °C, 30 °C, 40 °C ja 50 °C annostelussa. Tulosten varmistamiseksi jokaisesta lämpötilasta tehtiin kymmenen rinnakkaismäärittystä. Näytteitä lämmitettiin vesihauteessa. Sekoitus tapahtui magneettisekoittajalla, jonka sekoitusnopeus oli jokaisella näytteellä sama. Tuotemassaa sekoitettiin viisi minuuttia. Ennen ja jälkeen sekoituksen tuotemassan tilavuus mitattiin ja laskettiin tilavuuden muutosprosentti. Lämpötiloista 10 °C:tta ja 50 °C:tta tehtiin vielä tulosten varmistamiseksi koe-erät isommalla eräkoolla. Kuvassa 29 vasemmalla puolella on jauheet liuotettu kylmään 10 °C:seen nesteeseen ja oikealla puolella lämpimään 50 °C:seen nesteeseen. Aistinvaraisesti arvioimalla näki selvän eron vaahdon määrässä. Kylmässä nesteessä vaahtoa muodostui huomattavasti enemmän.

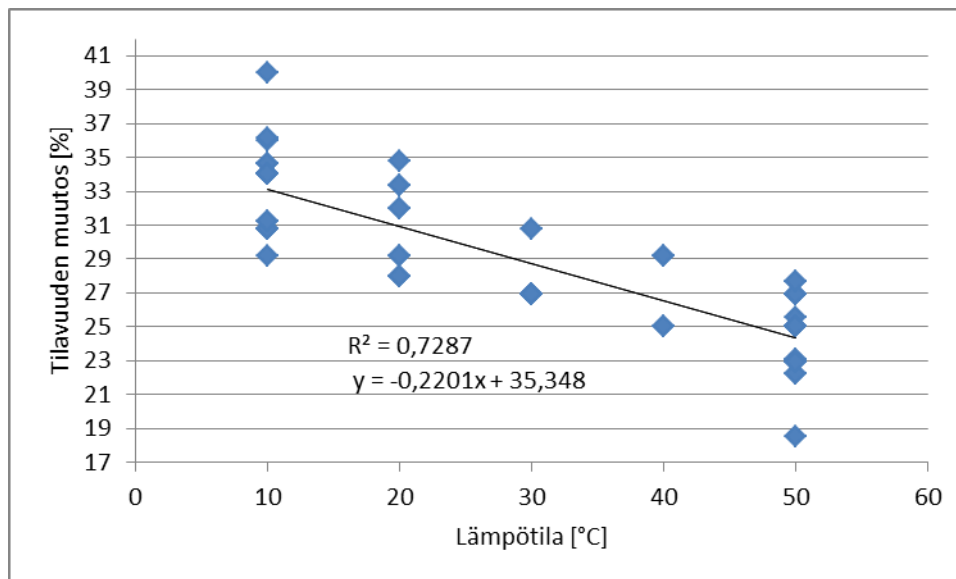


Kuva 29. Vasemmanpuoleisissa dekanterilasissa on nesteen lämpötila jauheiden liuotuksessa 10 astetta ja oikeanpuoleisissa dekanterilasissa nesteen lämpötila oli 50 astetta liuotuksessa. Massoja on sekoitettu 10 minuuttia. Vaahtoisuusero on selvästi silmämääräisesti havaittavissa.

Liuotettavat jauheet punnittiin reseptin mukaan ja sekoitettiin keskenään. Tuotemassan neste lämmitettiin tavoitteen mukaiseksi vesihauteessa. Nesteen tilavuuden selvittämiseksi mitattiin sen korkeus ja halkaisija dekanterilasissa. Dekanterilasiin asetettiin magneettisekoittajan magneetti. Magneettisekoittimen avulla jauheet liuotettiin nesteeseen. Tuotemassaa sekoitettiin 10 minuuttia. Tilavuuden muutoksen selvittämiseksi tuotemassan korkeus mitattiin jau-

heiden liuotuksen ja sekoituksen jälkeen. Liitteessä 2 on taulukoitu saadut tilavuuden muutokset.

Tulosten perusteella laadittiin hajontakuvio, joka on esitetty kuviossa 4. Kuvion perusteella voidaan silmämääräisesti havaita, että tilavuuden muutos pienenee lämpötilan noustessa. Kuvion pistejoukkoon piirrettiin lineaarinen trendi-suora yhtälöllä  $Y = -0,2201X + 35,348$ . Kulmakertoimesta  $-0,2201$  voidaan päätellä, että lineaarinen suora on laskeva.



Kuvio 4. Kuviossa selitettävänä muuttujana toimii tilavuuden muutos prosentteina. Tätä muutosta selittää lämpötilan muutos.

Muuttujien välisen yhteyden voimakkuutta kuvataan korrelaatiokertoimen avulla. Tämä kerroin on aina välillä  $+1$  ja  $-1$ . Muuttujien lineaarinen yhteys on sitä voimakkaampi, mitä lähempänä korrelaatiokertoimen itseisarvo on lukua  $\pm 1$ . Käytännön kokeesta saadun aineiston perusteella Pearsonin korrelaatiokerroin ( $r$ ) on  $-0,85363$ . Tällöin muuttujat, tilavuuden muutos ja lämpötila muuttuvat vastakkaisiin suuntiin eli lämpötilan kasvaessa tilavuuden muutos pienenee. Korrelaatiokertoimen avulla saatiin selitysaste, joka on  $0,7287$ . Tuotemassan tilavuuden laskua voidaan selittää lämpötilan nousulla  $72,87$  prosenttisesti.

Korrelaatioarvo testataan, jotta selviää onko poikkeama nolasta riittävän suuri. Tällöin sitä ei voida enää katsoa pelkästään satunnaisista syistä johtuvaksi. Testauksessa nollahypoteesina on se, että muuttujat ovat toisistaan lineaarisesti riippumattomia. Saatu testisuureen arvo on  $5,27453$ . Kriittinen arvo  $t$ -jakaumassa on  $5$  prosentin merkitsevyystasolla  $1,671$  ja  $1$  prosentin merkitsevyystasolla  $2,390$ . Saatu testisuureen arvo ylittää kriittiset arvot ja nollahypoteesi hylätään. Muuttujat, lämpötila ( $^{\circ}\text{C}$ ) ja tilavuuden muutos (%), ovat toisistaan lineaarisesti riippuvaisia.



Laboratoriomittakaavaisen kokeen tuloksien perusteella tehtiin käytännön koe tehtaalla. Kokeessa valmistettiin saman erän raaka-aineista kaksi erää samaa tuotemassaa. Erien eroavaisuuksina oli nesteen lämpötila liuotuksen aikana. Kuvassa 30 on tuotemassa, jossa jauheiden liuotus tehtiin kylmään nesteeseen, muodostui pinnalle runsas ja kiinteä vaahtopatja. Säiliön jäi tuotanto-ajon jälkeen 300 kg vaahtoa. Kuvassa 31 (s. 44) on tuotemassa, jossa liuotus tehtiin noin 40 °C:seen nesteeseen. Vertailtaessa kuvia keskenään, havaitaan, että vaahton määrä on pienentynyt huomattavasti liuotuksen tapahtuessa lämpimään nesteeseen.



Kuva 30. Tuotemassa, jonka valmistuksessa on käytetty alle 5 °C:sta nestettä liuotuksessa. Tuotemassan pinnalla on paksu ja kiinteä vaahtopatja.



Kuva 31. Tuotemassa, jonka valmistuksessa liuotuksessa käytetyn nesteen lämpötila oli 40 °C:tta. Verrattaessa kuvaan 30, havaitaan, että vaahdon määrä on selkeästi pienentynyt

Käytännön kokeellista osuutta olisi voinut jatkaa pidemmälle tekemällä koe-erät myös liuotuslämpötiloista +20 °C:tta ja +30 °C:tta. Alhaisempi tavoitelämpötila helpottaisi lämmityksen ja erityisesti jäähdytyksen kestoa. Kuvassa 31 havaitaan pientä vaahdonmuodostusta tuotemassan pinnalla. Liuotuslämpötilan laskiessa vaahdon muodostuminen voimistuu.

## 6 POHDINTA JA PARANNUSEHDOTUKSET

Opinnäytetyön tekoaikana ei löytynyt selkeää yksittäistä syytä siihen, miksi tuotemassa vaahtoutuu säiliöissä CS10 & CS11. Useampia pieniä vaahtoutuvuuteen vaikuttavia tekijöitä sen sijaan havaittiin.

Sekoittimien toiminnan optimoimiseksi sekoitusnopeuksien identtisyys samoilla prosenttiohjauksilla olisi tärkeää. Tämän saavuttamiseksi taajuusmuuntajien parametrit säädettiin uudelleen. Sekoittimen moottorin ylikuumentumisen estämiseksi alhaisin suositeltava sekoitusnopeus on 10 prosenttiin.

Aiemmin tuotemassa B:n valmistuksessa jauheet liuotetaan kylmään nesteeseen. Laboratoriossa suoritetussa käytännön kokeessa todettiin jauheiden muodostavan vähemmän vaahtoa liuotettaessa lämpimään nesteeseen. Tämän perusteella valmistettiin tuotantomittakaavassa koe-erä, jossa tuotemassa B:n jauheet liuotettiin lämpimään nesteeseen. Koe-erän perusteella päätettiin jat-



kossa valmistaa tuotemassa lämpimään nesteeseen. Jatkoprojektina tullaan suunnittelemaan nesteelle tehokas lämmitys- ja jäähdytyslaitteisto.

Ilmapuhalluksen myötä massaan siirtyy tuntematon määrä ilmaa. Ilmapuhalluksen keston optimointi olisi ajankohtaista, jottei massaan puhalleta turhaan ilmaa, jonka sekoitin vatkaa maassaan. Ilmaa saattaa jäädä massaan liuotuksessa syntyneen vaahtopatjan alle, jolloin se muodostaa vaahtoa entisestään. Vaihtoehtoisesti putken voisi tyhjentää vedellä, jolloin massaan ei siirtyisi ylimääräistä ilmaa.

Säiliössä olevat pystymalliset usean lapaparin sekoittimet eivät ole käytössä optimaalisimmat. Ongelmia aiheuttaneissa säiliöissä lapaparien halkaisija on suurempi kuin muissa sekoitus- ja välivarastointisäiliöissä. Lavat ovat vinotain asettuja ja kuten halkaisijassa, myös niiden leveyksissä on huomattavat erot. Nestepinnan tasossa lapaparit lisäävät massaan ilmaa. Säiliöissä CS10 ja CS11 olevien isompien sekoittimien myötä ilmaa massan joukkoon vatkaava pinta-ala on suurempi. Tähän voisi hakea ratkaisua taajuusmuuntajan kautta. Säiliön pinnan laskiessa lapojen tasolle sekoitus pysähtyisi tai hiljentyisi. Mahdollisesti tästä aiheutuva ongelma on, että välivarastoinnin aikana tuotemassakerän pinta asettuisi sekoittimien lapojen kohdalle, jolloin tuotemassa on pitkiä aikoja sekoittamatta.

Liuotuslinja on tällä hetkellä käytännössä sellainen, että kierto lähtee ja palaa säiliön pohjalle. Paluu on säiliön yläpuolelta putken avulla lähelle säiliön pohjaa. Tulevaisuudessa liuotuslinjan voisi suunnitella pohjalta lähteväksi ja suoraan pohjalle palautuvaksi, jolloin vältytään linjan lähes turhalta nousulta säiliöiden yläpuolelle ja linjan laskulta säiliön läpi lähelle pohjaa. Lähelle pohjaa, nestepinnan alapuolelle, palautuva liuotuskierto vähentää tuotemassan kosketusta ilman kanssa ja siten vaahtodon määrä vähenee.

Tulevaisuudessa välivarastointiin voisi hakea ratkaisua yhden lapaparin kylkitai pohjasekoittimista. Taajuusmuuntajien kautta nämä pysähtyisivät nestepinnan ollessa sekoittimen tasossa. Jauheiden optimaaliseen liuottamiseen tulisi myös kiinnittää huomiota. Alipaineessa liuotuksessa saadaan poistettua ilmaa, jolloin vaahtoutuminen pienenee.

Jos tuotteiden vaahtoutumista ei saada hillittyä nesteiden annostelussa, liuotuskierrolla tai sekoitusmuutoksilla, voisi tutkia mahdollisuuksia ilmanpoiston hyödyntämisestä. Säiliöltä sterilisaattorille tulevaan siirtolinjaan voisi tällöin suunnitella ilmanpoistotekniikkaa maidonvastaanoton tapaan.

Säiliöiltä CS4–CS8 syöttölinjoissa sterilisaattoreille on pumppuina keskipakopumput. Säiliöiltä CS10 ja CS11 tulevissa syöttölinjoissa on lohko-roottoripumput. Lohko-roottoripumput pystyvät keskipakopumppua paremmin pumppaamaan ilmavaa massaa eteenpäin. Sterilisaattorin tuotesuppiloon tulevaa vaahtodon määrää voisi pystyä hillitsemään keskipakopumpun avulla.

Opinnäytetyön aihe oli haastava ja jo pitkään vaivannut ongelma tehtaalla. Siihen oli mielenkiintoista perehtyä. Aiheen haastavuuteen nähden työ onnistui mielestäni hyvin. Työ lisäsi myös tietouttani niin laiteteknologiasta, fysiikasta kuin raaka-aineiden erilaisista ominaisuuksista. Laajan aihealueen ja oppimiskokemusten myötä olen tyytyväinen työni tulokseen. Oli palkitsevaa huomata liuotuksen lämpötilan noston koeajossa tapahtunut merkittävä vaahdon määrän väheneminen.

Työn aikana havaittiin, että sekoitusnopeuden muutoksilla ei ollut merkittäviä vaikutuksia vaahdon muodostukseen. Selvitettäessä tuotemassoihin käytettyjä raaka-aineita, selvisi, että kyseisiä raaka-aineita käytetään myös muissa tuotemassoissa, joissa vaahtoamista ei ole tapahtunut. Pääosin vaahtoa muodostui tuotemassoihin liuotuksessa sekä rasvattoman maidon ja kerman annosteluisissa ja linjojen ilmapuhalluksissa.

Työtä olisi voinut jatkaa pidemmälle selvittämällä optimaalisimman ja kustannustehokkaimman tavan lämmittää neste liuotukseen ja tämän jälkeen jäähdyttää se välivarastointiin.

## LÄHTEET

Alfa Laval Corporate AB. n.d.a. AL Hybrid Powder Mixer-final. Vastaanottaja Miia Stenholm. [sähköpostiviesti; Savolainen, J.] Viitattu 20.4.2015.

Alfa Laval Corporate AB. n.d.b. Selection table for Alfa Laval mixing technologies. Viitattu 10.5.2015.

[http://www.alfalaval.com/campaigns/tankequipment/mixing-and-agitation/application-overview/Documents/Selection\\_of\\_mixing\\_technology\\_ver\\_0a\\_pdf.pdf](http://www.alfalaval.com/campaigns/tankequipment/mixing-and-agitation/application-overview/Documents/Selection_of_mixing_technology_ver_0a_pdf.pdf)

Alfa Laval Corporate AB. n.d.c. Rotary Jet Mixer solution. Viitattu 4.5.2015.

<http://www.alfalaval.com/industries/food-dairy-beverages/dairy/processes/pages/dairy-processes.aspx>

Alfa Laval Corporate AB. n.d.d. A more complete mix ... for optimizing your tank. Viitattu 4.5.2015.

<http://www.alfalaval.com/solution-finder/products/agitators/Documents/Brochure%20-%20A%20more%20complete%20mix%20-%20for%20optimizing%20your%20tank%20-%20EN.pdf>

Alfa Laval Corporate AB. n.d.e. How it works. Viitattu 4.5.2015.

<http://www.alfalaval.com/solution-finder/products/agitators/pages/howitworks.aspx>

Alfa Laval Corporate AB. n.d.f. Match and Mix. Viitattu 4.5.2015.

<http://www.alfalaval.com/solution-finder/products/agitators/Documents/Brochure%20-%20Match%20and%20mix%20-%20Solutions%20for%20agitation%20and%20mixing%20-%20EN.pdf>

Bylund, G. 2003. Dairy processing handbook. Tetra Pak Processing Systems Ab. Sweden.

Hautala, M. & Peltonen, H. 2011. Insinöörin (AMK) Fysiikka osa 1. Saarijärvi: Lahden teho-opetus Oy.

Heikkinen, R. 5.3.2015. CS10 ja CS11 sekoittajat. Vastaanottaja Miia Stenholm. [sähköpostiviesti]. Viitattu 7.3.2015.

ISO-MIX A/S. 2007. Käyttäjän käsikirja ISO-MIX-sekoitin. Versio 07.01. Denmark.

Jyväskylän Yliopisto. Yleistä viskositeetista. n.d. Viitattu 31.1.2015.

<https://koppa.jyu.fi/avoimet/kemia/kems448/suomeksi/ohjeet/liuokset/viskositeetti>

Kauranne, H., Kajaste, J. & Vilenius, M. 1999. Hydrauliteknikan perusteet. Porvoo: WSOY.

Kosonen, M. 8.4.2015. Tuotemassojen sekoittaminen. Vastaanottaja Miia Stenholm. [sähköpostiviesti]. Viitattu 1.5.2015.

Linnavuori, I. 2013. Vaahdot elintarvikkeiden kemiassa – valkuaisvaaho. Helsingin yliopisto. Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta. Kemian laitos. Kemian opettajankoulutusyksikkö. Kandidaatin tutkielma. Viitattu 1.3.2015.

[http://www.helsinki.fi/kemia/opettaja/ont/Linnavuori\\_I\\_2013\\_kandidaatintutkielma.pdf](http://www.helsinki.fi/kemia/opettaja/ont/Linnavuori_I_2013_kandidaatintutkielma.pdf)

McDonough, R. 1992. Mixing for the process industries. New York: Van nostrand reinhold.

Metropolia. 2009. Putkivirtaus. Koneautomaatio. Viitattu 20.5.2015.

<https://wiki.metropolia.fi/display/koneautomaatio/4.+Putkivirtaus>

Otronen, S. 2015. Venttiilin painehäviön mittaus. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Energiateknikan koulutusohjelma. Kandidaatintyö. Viitattu 21.5.2015.

[https://doria32-  
kk.lib.helsinki.fi/bitstream/handle/10024/104433/Sampsa%20Otronen-  
Venttiilin%20paine%20A4vi%20B6n%20mittaus.pdf?sequence=2](https://doria32-<br/>kk.lib.helsinki.fi/bitstream/handle/10024/104433/Sampsa%20Otronen-<br/>Venttiilin%20paine%20A4vi%20B6n%20mittaus.pdf?sequence=2)

Phinney, R. 2011. Study on the Hydration of Milk Powders. Sweden: Tetra Pak Dairy & Beverage Systems AB.

Pihkala, J. 1998. Prosessitekniikan yksikköprosessit. Opetushallitus. Hesinki: Hakapaino Oy.

Pulli, M. 2009. Virtaustekniikka. Tammertekniikka. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.

Rantamäki, P. & Hiidenhovi, J. 2001. Maidon ja munan proteiinit parantavat elintarvikkeiden rakennetta. Koetoiminta ja käytäntö. Viitattu 3.4.2015.

<http://www.mtt.fi/koetoiminta/pdf/mtt-kjak-v58n4s13.pdf>

Savolainen, J. 7.4.2015. Tuotemassojen sekoittaminen. Vastaanottaja Miia Stenholm. [sähköpostiviesti]. Viitattu 7.4.2015.

Tanskanen, L. 18.3.2015. Tetra Pak. Puhelinkeskustelu 18.3.2015.

Tetra Pak Scanima S/A. 2013. Tetra Almix In-Line recirculation vacuum mixer Viitattu 1.5.2015.

<http://www.tetrapak.com/DocumentBank/PD63326-Tetra-Almix.pdf>

Tetra Pak Scanima S/A, n.d. Tetra Almix Mixing of ingredients. Vastaanottaja Miia Stenholm. [sähköpostiviesti; Kosonen, M.]. Viitattu 8.4.2015.

Tetra Pak Processing Systems. 2011. Mixing technology An introduction. Viitattu 15.4.2015.

[http://www.tetrapak.com/DocumentBank/br20559\\_mixing.pdf](http://www.tetrapak.com/DocumentBank/br20559_mixing.pdf)

Tirri, T. 2002. Mekaaninen prosessitekniikka 2. Oulun yliopisto. Prosessi- ja ympäristötekniikan osasto.

Ystral gmbh. 2015a. Conti-TDS. Viitattu 30.01.2015.

<http://ystral.com/en/our-machines/conti-tds/>

Ystral gmbh. n.d. Conti-TDS. Viitattu 2.2.2015.

[http://ystral.com/fileadmin/user\\_upload/Unternehmen/Broschueren/E-Conti-TDS.pdf](http://ystral.com/fileadmin/user_upload/Unternehmen/Broschueren/E-Conti-TDS.pdf)

Ystral. 2015b. DaiTec Conti-TDS. Viitattu 30.01.2015.

<http://ystral.com/en/our-machines/daitec-conti-tds/>

Ystral gmbh. 2015c. Jetstream. Viitattu 7.3.2015.

[http://ystral.com/fileadmin/user\\_upload/Unternehmen/Broschueren/E-Jetstream.pdf](http://ystral.com/fileadmin/user_upload/Unternehmen/Broschueren/E-Jetstream.pdf)

Ystral gmbh. 2015d. Jetstream mixer. Viitattu 7.3.2015.

<http://ystral.com/en/our-machines/jetstream-mixer/>

Ystral gmbh. 2015e. Dispermix. Viitattu 7.3.2015.

[http://ystral.com/fileadmin/user\\_upload/Unternehmen/Broschueren/E-Dispermix.pdf](http://ystral.com/fileadmin/user_upload/Unternehmen/Broschueren/E-Dispermix.pdf)

Ystral gmbh. 2015f. Mixing and dispersing with one machine. Viitattu 7.3.2015.

<http://ystral.com/en/our-machines/dispermix/>

Winkworth. n.d. Double Cone Blender. Viitattu 20.5.2015.

[http://www.mixer.co.uk/winkworth\\_mixers/DCB.aspx](http://www.mixer.co.uk/winkworth_mixers/DCB.aspx)

Wuori, P. 1994. Virtausmekaniikan perusteet. Helsinki : Otatieto.

# SEKOITUSTEHON LASKEMINEN

Re-luvun laskukaava newtonilaisille nesteille on esitetty kaavassa 3.

$$Re_m = \frac{nd^2}{\nu} \quad (3)$$

Sekoituksen teholumen laskukaava on esitetty kaavassa 4. Kaavassa tarvittavat sekoitintyyppien vakiot A ja m ovat taulukossa 15.

$$\zeta_M = ARe_M^{-m} \quad (4)$$

Taulukko 15. Teholumen laskemiseen tarvittavat sekoitintyyppien vakioarvoja (Tirri 2002, 186)

Sekoitintyyppi	A	m	Re <sub>M</sub> -alue
Levysekoitin	110	1,0	<30
	14,4	0,31	100–50 000
Levysekoitin (putkikierukoin varustetussa astiassa)	160	0	<50
	7,1	0,135	50–50 000
	1,7	0	>50 000
Palkkisekoitin	6,8	0,20	-
Ankkurisekoitin	6,2	0,25	-
Potkuri- (2-lap.) sekoitin (3-lap.)	0,99	0,15	>3 000
	230	1,67	<50
	4,6	0,35	100–3 000
	1,2	0,15	3 000–30 000
	0,68	0	>30 000
Turbiini- (3-lap.) sekoitin (6-lap.) (12-lap.)	3,9	0,20	>3 000
	6,0	0,15	>3 000
	10,4	0,15	>3 000

Käynnistyksen teho arvioidaan kaavalla 5.

$$\frac{P_{st}}{P} = 1 + 0,134Re_M^{0,22} \quad (5)$$

Sekoituksen energiankulutuksen laskukaava 6.

$$W = C\zeta_M\rho \times \left(\frac{1}{t}\right)^2 \times d^5 \quad (6)$$

# MASSAN TILAVUUDEN MUUTOKSET ERI LIUOTUS LÄMPÖTILOISSA

Taulukkoon 16 on koottu käytännönkokeessa saadut tulokset tuotemassan vaahtoamisesta. Tilavuudet on laskettu ennen lisäyksiä tuotemassan nesteelle sekä jauheiden lisäysten ja sekoituksen jälkeen.

Taulukko 16. Tilavuuden muutokset jauheiden lisäämisen ja sekoituksen jälkeen eri lämpötiloissa

Lämpötila [°C]	Tilavuus ennen [cm <sup>3</sup> ]	Tilavuus jälkeen [cm <sup>3</sup> ]	Tilavuuden muutos [cm <sup>3</sup> ]	Tilavuuden muutos [%]
10	106,0288	136,9538	30,9250527	29,1666667
10	110,4466	150,2074	39,760782	36
10	114,8645	150,2074	35,3429174	30,7692308
10	114,8645	154,6253	39,760782	34,6153846
10	114,8645	150,2074	35,3429174	30,7692308
10	110,4466	154,6253	44,1786467	40
10	114,8645	154,6253	39,760782	34,6153846
10	114,8645	154,6253	39,760782	34,6153846
10	114,8645	150,2074	35,3429174	30,7692308
10	114,8645	150,2074	35,3429174	30,7692308
10	212,0575	278,3255	66,26797	31,25
10	207,6396	278,3255	70,6858347	34,0425532
10	207,6396	278,3255	70,6858347	34,0425532
10	207,6396	278,3255	70,6858347	34,0425532
10	212,0575	278,3255	66,26797	31,25
10	207,6396	282,7433	75,1036994	36,1702128
10	207,6396	278,3255	70,6858347	34,0425532
10	207,6396	278,3255	70,6858347	34,0425532
10	207,6396	278,3255	70,6858347	34,0425532
10	207,6396	278,3255	70,6858347	34,0425532
10	207,6396	278,3255	70,6858347	34,0425532
10	207,6396	278,3255	70,6858347	34,0425532
10	207,6396	278,3255	70,6858347	34,0425532
10	207,6396	278,3255	70,6858347	34,0425532
20	106,0288	141,3717	35,3429174	33,3333333
20	110,4466	145,7895	35,3429174	32
20	110,4466	145,7895	35,3429174	32
20	110,4466	141,3717	30,9250527	28
20	106,0288	136,9538	30,9250527	29,1666667
20	106,0288	141,3717	35,3429174	33,3333333
20	106,0288	136,9538	30,9250527	29,1666667
20	110,4466	141,3717	30,9250527	28

20	101,6109	136,9538	35,3429174	34,7826087
20	110,4466	141,3717	30,9250527	28
30	114,8645	145,7895	30,9250527	26,9230769
30	114,8645	145,7895	30,9250527	26,9230769
30	114,8645	145,7895	30,9250527	26,9230769
30	114,8645	145,7895	30,9250527	26,9230769
30	114,8645	145,7895	30,9250527	26,9230769
30	114,8645	145,7895	30,9250527	26,9230769
30	114,8645	145,7895	30,9250527	26,9230769
30	114,8645	145,7895	30,9250527	26,9230769
30	114,8645	145,7895	30,9250527	26,9230769
30	114,8645	150,2074	35,3429174	30,7692308
30	114,8645	145,7895	30,9250527	26,9230769
40	106,0288	136,9538	30,9250527	29,1666667
40	106,0288	136,9538	30,9250527	29,1666667
40	106,0288	132,5359	26,507188	25
40	106,0288	132,5359	26,507188	25
50	114,8645	141,3717	26,507188	23,0769231
50	114,8645	145,7895	30,9250527	26,9230769
50	119,2823	145,7895	26,507188	22,2222222
50	119,2823	145,7895	26,507188	22,2222222
50	114,8645	141,3717	26,507188	23,0769231
50	119,2823	141,3717	22,0893233	18,5185185
50	114,8645	145,7895	30,9250527	26,9230769
50	114,8645	145,7895	30,9250527	26,9230769
50	114,8645	141,3717	26,507188	23,0769231
50	114,8645	145,7895	30,9250527	26,9230769
50	212,0575	265,0719	53,014376	25
50	212,0575	265,0719	53,014376	25
50	207,6396	260,654	53,014376	25,5319149
50	212,0575	265,0719	53,014376	25
50	212,0575	265,0719	53,014376	25
50	212,0575	260,654	48,5965114	22,9166667
50	212,0575	265,0719	53,014376	25
50	212,0575	260,654	48,5965114	22,9166667
50	207,6396	265,0719	57,4322407	27,6595745
50	212,0575	265,0719	53,014376	25
50	212,0575	265,0719	53,014376	25
50	207,6396	265,0719	57,4322407	27,6595745